

Treball de Fi de Grau

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Disseny d'una unitat energètica mòbil

MEMÒRIA

Autor: Xavier Vilanova Rubau
Director: Dr. Emilio Hernández
Convocatòria: Juny 2019



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'aïllament elèctric d'àrees poc poblades o allunyades de la població és un fet avui en dia i és necessari trobar una solució. Ja sigui campaments per refugiats o zones on no és esperat que hi hagi d'haver una activitat però que tant mateix hi existeix, o àrees on no és esperat que hi hagi un consum elèctric i per diverses causes hi acaba existint una necessitat.

Tot i el problema existent, des de sempre s'ha contemplat com a única solució l'ús de un generador amb combustible fòssil o de fonts d'energia no renovables; actualment, a més del problema de l'aïllament s'hi pot sumar el problema de l'esgotament de les reserves de petroli i és necessari trobar una solució.

És per això que és important trobar i desenvolupar un sistema que faci ús d'una font d'energia renovable per tal de fer front aquest problema i s'han de crear i estudiar nous sistemes econòmics per tal d'afrontar i solucionar el problema de l'aïllament, valorant i optimitzant les diferents solucions per tal d'abastir les necessitats dels usuaris optant per altres alternatives diferents a la creació o ampliació d'una xarxa elèctrica a la zona o l'ús d'un generador de combustible fòssil.

1. PREFACI	9
1.1. Origen del projecte	9
1.2. Motivació	9
1.3. Requeriments previs	9
2. INTRODUCCIÓ	10
2.1. Objectius del projecte.....	11
2.2. Abast del projecte	11
3. ESTAT DE L'ART	12
3.1. Generadors	13
3.1.1. Llei de Faraday.....	13
3.2. Generadors electromecànics	14
3.2.1. Estator	14
3.2.2. Rotor.....	14
3.3. Generadors elèctrics electroquímics.....	15
3.4. Generadors elèctrics fotovoltaics.	16
4. CONCEPTES TECNOLÒGICS	17
4.1. Generadors fotovoltaics.....	17
4.1.1. El concepte fotovoltaic.....	17
4.1.2. Materials semiconductors en el fenomen fotovoltaic.	17
4.1.2.1. Unió P-N.	18
4.1.3. Evolució plaques fotovoltaiques	19
4.1.3.1. Primera generació	20
4.1.3.2. Segona generació	20
4.1.3.3. Tercera generació	20
4.1.3.4. Quarta generació	20
4.1.4. Tipus de cel·les fotovoltaiques de Silici.	21
4.1.4.1. La cèl·lula de silici monocristal·lí.....	21
4.1.4.2. La cèl·lula de Silici policristal·lí.....	21
4.1.4.3. La cèl·lula de Silici amorf	22
4.2. Acumuladors de segona vida.....	23
4.2.1. Bateries de Ió - Liti amb electròlit líquid.....	23
4.2.1.1. Vida de les bateries ió – liti	23
4.3. Sistema fotovoltaic autònom	25

5. UNITAT ENERGÈTICA MÒBIL A CASTELLOLÍ	26
5.1. Consums	26
5.2. Radiació solar	29
5.2.1. El moviment del Sol.	29
5.3. Plaques fotovoltaïques	31
5.3.1. Característiques placa solar escollida.....	31
5.3.2. Càlculs sistema fotovoltaic	33
5.3.2.1. Mòdul 1. Consum bombes	33
5.3.2.2. Mòdul 2. Consums personals	34
5.4. Regulador de càrrega	36
5.4.1. Tipus de regulador de càrrega.....	36
5.4.1.1. Regulador Pulse With Modulation (PWM).	36
5.4.1.2. Regulador Maximum Power Point Tracking (MPPT).	36
5.4.2. Característiques regulador de càrrega.	37
5.4.2.1. Regulador de càrrega mòdul 1	38
5.4.2.2. Regulador de càrrega mòdul 2	38
5.5. Acumuladors de càrrega	39
5.5.1. Acumuladors de càrrega de segona vida	39
5.5.1.1. Cotxe elèctric.	39
5.5.1.2. Moto elèctrica.	40
5.5.2. Càlculs acumuladors de càrrega.	40
5.5.2.1. Connexió en sèrie	41
5.5.2.2. Connexió en paral·lel	42
5.5.2.3. Connexió combinada	42
5.6. Inversor de càrrega	44
5.6.1. Funcionament inversor de càrrega.....	44
5.6.2. Càlculs inversor	45
5.6.2.1. Inversor mòdul 1.	45
5.6.2.2. Inversor mòdul 2.	47
5.7. Cables.....	51
5.7.1. Cables mòdul 1.....	51
5.7.2. Cables mòdul 2.....	52
5.8. Dimensions del remolc.	54
5.8.1. Dimensions mòdul 1	54

5.8.2. Dimensions mòdul 2.	56
6. DIAGRAMA DE GANTT DEL PROJECTE	57
7. ESTUDI ECONÒMIC	58
7.1. Cost plaques fotovoltaïques	58
7.2. Cost Regulador + Inversor	58
7.3. Cost Bateria.....	59
7.4. Cost cables.....	59
7.5. Cost Remolc.....	60
7.6. Cost total	60
8. IMPACTE MEDIAMBIENTAL	62
CONCLUSIONS	63
AGRAÏMENTS	64
BIBLIOGRAFIA	65
Referències bibliogràfiques	65
ANNEX	67

1. Prefaci

1.1. Origen del projecte

L'origen d'aquest projecte prové d'una necessitat observada al llarg dels últims anys en la societat. Des de fa temps es parla del canvi climàtic i de l'esgotament de recursos del nostre planeta, això fa que com a enginyers i persones aparegui una mentalitat de progrés i de ganes de millorar el món en el que vivim. És per això que un cop vist com hem evolucionat apareix una necessitat de trobar noves tecnologies més sostenibles, i en el cas d'aquest projecte, una manera de substituir el que vindria a ser una font d'energia no renovable pel que serà un pas endavant a la manera de obtenir energia.

1.2. Motivació

La motivació principal del projecte apareix quan un mateix es troba davant del problema de la sobre explotació de recursos, el fet de buscar cada vegada noves tecnologies i un millor condicionament del dia a dia de les persones; intentant substituir i millorar el que ja tenen.

Al veure això i també trobar una àrea de recerca interessant i innovadora com és el sector energètic, es decideix, buscar una nova manera de donar energia a llocs inaccessibles al mateix temps de utilitzar recursos ja usats que són complicats de reciclar (bateries) i que a més estan en desús.

Per últim, és el de poder desenvolupar un projecte que benefici a la societat i que a més apart de millorar el dia a dia de les persones, doni una segona vida a les bateries d'alta capacitat que ja no es poden utilitzar i que s'haurien de llençar. A més de pensar que pot ser l'origen d'una nova font d'investigació i que té diverses aplicacions.

1.3. Requeriments previs

Amb la finalitat d'entendre el projecte en qüestió cal tenir una base bàsica en les següents matèries: electrònica de potència, energia elèctrica, energia fotovoltaica, corrent continu i corrent altern, química, funcionament de les bateries.

2. Introducció

En els darrers anys la nostra societat ha anat evolucionant i s'han produït molts canvis. Un dels més importants és l'esgotament d'una font d'energia primària com és el petroli, i la recerca de noves energies renovables. El canvi del vehicle de combustió al vehicle elèctric ja és un fet i és hora de plantejar-nos que és el que fem amb les peces i parts del vehicle un cop ja està en desús.

El fet de desenvolupar el vehicle elèctric és favorable per el medi ambient per el problema que hem tingut durant els últims anys, com és el deteriorament de la capa d'ozó per causa del CO₂ acumulat a l'atmosfera. És per això que ara que han passat uns anys des de el primer vehicle elèctric cal plantejar-se què és el que passarà amb les peces no reciclables de l'esmentat, per tal que no sortim perjudicats i la solució que es va trobar prèviament gràcies als residus generats no sigui perjudicial al final per les futures generacions.

Això es suma a l'existència del problema de que hi ha zones aïllades que necessiten una font d'energia ja que les xarxes elèctriques no els hi arriben, o bàsicament no hi ha població al voltant. En aquests casos a dia d'avui s'utilitzen generadors (de gasolina o gasoil) que apart de consumir molta energia d'un recurs que algun dia s'acabarà, fan molt soroll i són molt limitats.

Tenint en ment aquests dos problemes, es proposa la solució d'aquest; una unitat energètica fotovoltaica mòbil donant una segona vida útil a les bateries que estan en desús de vehicles elèctrics com a possibilitat d'emmagatzemar energia, utilitzant com a mètode de recàrrega plaques fotovoltaïques, tot això muntat sobre un remolc que proporcionarà la mobilitat suficient. Sent el conjunt una substitució total dels generadors i una solució d'abastir les zones més inaccessibles.

2.1. Objectius del projecte

Aquest projecte es desenvolupa davant la necessitat observada d'un canvi en la societat i una inquietud en el moment de voler dissenyar una unitat energètica mòbil. L'objectiu principal consisteix en trobar una solució al problema de donar energia a les zones inaccessibles així com el problema del reciclatge de bateries (aconseguir augmentar la seva vida útil); per últim, poder dissenyar cada component del sistema fotovoltaic així com analitzar les diferents alternatives alhora de resoldre el problema.

2.2. Abast del projecte

L'abast d'aquest projecte consisteix en trobar una solució aplicable al problema del subministrament d'energia en zones aïllades. Per resoldre-ho es proposen diferents opcions, escollint la d'un sistema fotovoltaic autònom com la òptima. En el projecte es descriuen els càlculs pertinents així com la modelització d'aquest sistema amb la finalitat d'aplicar-lo en un futur. De cada component del sistema fotovoltaic es farà un anàlisi del seu funcionament, i es seleccionarà un tipus de component per modelitzar el conjunt; a més, d'un pressupost per la suposada construcció del sistema fotovoltaic.

3. Estat de l'Art

Degut als avanços tecnològics que s'han dut a terme durant els últims anys, s'ha produït el fenomen d'escalfament global de la terra. Aquest escalfament ha anat augmentant ja que no s'ha tingut en compte fins que ens hem trobat amb el fenomen del canvi climàtic; que és una gran preocupació per el món d'occident.

El problema del canvi climàtic esdevé pel que s'anomena efecte hivernacle, que consisteix en que l'atmosfera permet l'entrada de radiació solar visible, però impeding o dificultant l'emissió de calor des del planeta. L'escalfament global del planeta es veu afectat no només per els gasos que estan de forma natural presents a l'atmosfera sinó també per un excés els gasos que són perjudicials com el CO₂ o el vapor d'aigua.

Un augment en la temperatura posa en perill la composició, capacitat de recuperació i la productivitat dels ecosistemes naturals i acabarà alterant les regions climàtiques i els corrents oceànics amb possibles conseqüències importants sobre les activitats humanes. És per això que en els últims anys s'ha pensat en maneres alternatives per reduir les emissions de CO₂. La principal font d'emissió de CO₂ causades per l'ésser humà són bastant obvies, sent els mitjans de transport que utilitzen derivats del petroli com a combustible, també hi són les grans indústries i fàbriques, encara que s'estima que la contaminació atmosfèrica que produeixen els vehicles és major.

A partir d'aquí és on ens hem posat a investigar i a trobar formes per poder moure'ns de manera més 'eco-friendly' com per exemple el vehicle elèctric. El problema va una mica més enllà ja que s'ha investigat molt per tal de trobar una forma que no afecti al medi ambient, però com tot, no hi ha res que sigui gratuït. Un dels problemes que ens hem de plantejar ara és què fem amb les bateries dels vehicles elèctrics una vegada estan en desús o ja no donen un rendiment òptim.

3.1. Generadors

Un generador elèctric és màquina capaç de transformar algun tipus d'energia, ja sigui química o lluminosa, en electricitat. Un generador elèctric és un dispositiu que és capaç de mantenir una diferència de potencial elèctric entre dos punts, que s'anomenen pols o borns.

El punt clau del funcionament de generadors és amb el que s'anomena **Llei de Faraday (3.1.1)**, que utilitza un camp magnètic per generar un moviment d'electrons per produir energia elèctrica.

El primer generador elèctric indicat per un ús industrial va ser la dinamo. Creat l'any 1832 per el fabricant d'eines francès '*Hippolyte Pixii*', que utilitzava un imant permanent que rodava enmig d'una manovella. La dinamo transformava el flux magnètic en electricitat per mitjà del fenomen de la inducció electromagnètica i generant una corrent continua^[1].

A partir de la primera dinamo, es va anar desenvolupant la tecnologia dels generadors i ara podríem fer 3 classificacions:

1. Generadors elèctrics electromecànics.
2. Generadors elèctrics electroquímics.
3. Generadors elèctrics fotovoltaics.

3.1.1. Llei de Faraday

La llei de Faraday descoberta per el físic Michael Faraday durant el segle XIX; relaciona la raó de canvi de flux magnètic que passa a través d'una espira amb la magnitud de la força electromotriu ε induïda a l'espira. La relació és:

$$\varepsilon = \frac{d\Phi}{dt}$$

La força electromotriu (FEM), es descriu com la diferència de potències a través de l'espira descarregada (és a dir, quan la resistència en el circuit és alta). En la pràctica sol ser suficient pensar en la FEM com un voltatge, doncs tant el voltatge com la FEM es mesuren amb la mateixa unitat, el volt.

La dinamo més senzilla es la dinamo de disc desenvolupada per Faraday, que consisteix en un disc de coure que es munta de tal forma que la part del disc que es troba en el centre i la cantonada quedi situada entre els pols d'un imant. Quan el disc gira, s'indueix una corrent entre el centre del disc i el seu voltant degut a l'acció del camp de l'imat. El disc pot fabricar-

se per funcionar com un motor mitjançant l'aplicació d'un voltatge entre el voltant i el centre del disc, el que fa que el disc giri gracies ala força produïda per la reacció magnètica.

En quant a la relació de la llei de Faraday en els generadors consisteix utilitzar una font d'energia per tal de fer girar un conjunt d'espores que generaran un camp magnètic que generarà un corrent en un dels dos sentits de l'espira.^[2]

3.2. Generadors electromecànics

Un generador electromecànic és capaç de transformar energia mecànica en energia elèctrica, generant una corrent alterna mitjançant inducció electromagnètica, també s'anomena Alternador.

Els alternadors estan formats bàsicament per dues parts:

- Estator: L'estator està format per una carcassa (normalment metàl·lica) que dona suport als diferents components que formen la màquina. En el seu interior hi podem trobar el nucli de l'induït, format per un conjunt de xapes magnètiques en forma de corona i amb ranures longitudinals, on s'allotgen els conductors del debanat induït.
- Rotor: El rotor està situat a dins de l'estator i està suportat per coixinets (que s'usen per evitar la fricció, i augmentar el rendiment mecànic).

3.2.1. Estator

L'estator és una part fixa i ha de complir unes característiques determinades, per això se li fan diferents proves del *megat* que ens determina amb l'ajuda d'un 'Megger', la resistència de l'aïllament.

3.2.2. Rotor

Bàsicament hi ha dos tipus de rotor:

1. Rotor de pols sortits o roda polar: s'utilitza en alternadors multipolars accionats per turbines hidràuliques o motors tèrmics (màquines de velocitat lenta). A causa de l'enorme força centrífuga a què estan sotmesos, a la llanta de la roda s'hi ha de fixar els pols inductors, molt ben subjectes. Aquests pols estan fets d'una sola peça a les màquines de poca potència o amb xapa magnètica apilada per a màquines de més potència.
2. Rotor de pols llisos: s'utilitzen en màquines bipolars, tetrapolars i hexapolars (amb dues, tres i quatre parelles de pols respectivament) que giren a 3000, 1500 i 1000 rpm

respectivament accionades, generalment, per turbines de vapor i gas que li donen el nom turboalternadors. Els conductors de l'inductor es col·loquen en les ranures longitudinals mecanitzades al rotor.

3.3. Generadors elèctrics electroquímics.

Un generador electroquímic és un tipus de generador elèctric que converteix directament l'energia química emmagatzemada en substàncies químiques en una corrent elèctrica, mitjançant una reacció química sense passar per altres tipus d'energia com tèrmica, mecànica o magnètica.

El generador electroquímic més simple és la cel·la electroquímica que genera una corrent elèctrica amb una diferència de potencial o força electromotriu d'aproximadament 1 o 2 volts, a partir d'una reacció d'oxidació-reducció.

Generalment podem distingir els tipus de generadors electroquímics segons el lloc on s'emmagatzemen els reactius:

1. Generadors electroquímics oberts: Intercanvien matèria amb l'entorn, és a dir, el generador només conté els elements per la transformació d'energia però no emmagatzema els reactius que han d'arribar des de l'exterior.
2. Generadors electroquímics tancats: Només intercanvien energia amb l'entorn, doncs tot els reactius estan dins del propi sistema.

A més a més podem segons les seves característiques hi ha diferents tipus de generadors electroquímics i es classifiquen de la següent manera com a:

1. Cèl·lula: consta de dos semicel·les connectades on es realitzen els processos elementals d'oxidació (ànode) i la reducció (càode), apareixent entre ells una diferència de potencial d'alguns volts.
2. Pila elèctrica: És qualsevol dispositiu que converteix energia química en energia elèctrica per un procés químic transitori. La seva característica principal és que no es pot reutilitzar.
3. Bateria: És un conjunt de varis elements o cel·les voltaiques, agrupades horitzontalment y connectats en sèrie per obtenir una corrent major de voltatge, com una bateria de cotxe.
4. Acumulador: és una cel·la electroquímica secundària que pot emmagatzemar energia elèctrica per posteriorment generar una corrent elèctrica. Els seus components són similars als de les piles però inicialment requereixen un procés de càrrega (fer passar una corrent a través d'ella per generar les substàncies químiques capaces de fer-la funcionar durant la descàrrega).

3.4. Generadors elèctrics fotovoltaics.

Els generadors fotovoltaics consisteixen en un tipus de generador que transforma la llum solar en energia elèctrica mitjançant el seu component principal (les cel·les fotovoltaïques). Com s'explica més extensivament posteriorment hi ha diferents tipus de cel·les fotovoltaïques també anomenades com "plaques solars".

Posteriorment s'explicarà amb detall el funcionament i diferents tipus de cel·les fotovoltaïques.

4. Conceptes tecnològics

4.1. Generadors fotovoltaics

4.1.1. El concepte fotovoltaic.

El concepte fotoelèctric o fotovoltaic consisteix en la conversió de la llum en electricitat. Aquests complex procés s'aconsegueix amb alguns materials que tenen la propietat d'absorbir fotons i emetre electrons. Quan els electrons lliures són capturats, es produeix un corrent elèctric que pot ser utilitzat com electricitat.

4.1.2. Materials semiconductors en el fenomen fotovoltaic.

La matèria està constituïda per àtoms, que tenen un nucli (càrrega elèctrica positiva) i electrons (càrrega elèctrica negativa)^[3].

Els electrons en si, giren al voltant del nucli creant diferents nivells o 'bandes' d'energia de manera que acaben compensant la càrrega positiva d'aquest i mantenint una estabilitat deixant-lo elèctricament neutre. Cal esmentar que els electrons de la última capa són els més importants i s'anomenen electrons de valència. Els electrons de valència són els electrons que es troben a la capa de valència que és l'últim nivell d'energia de l'àtom. Aquests electrons són els més importants ja que poden generar enllaços químics (covalents, iònics o metàl·lics) amb altres àtoms.

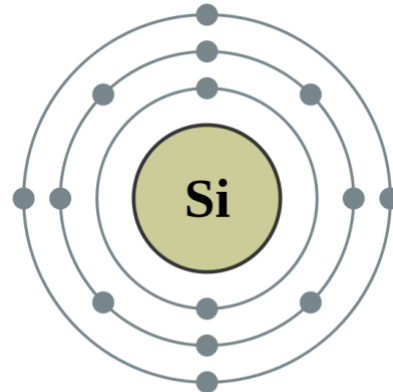
La matèria en si es pot classificar en tres tipus de materials: conductors, semiconductors i aïllants.

Els materials semiconductors tenen unes propietats molt especials i són essencials per al fenomen fotovoltaic, ja que l'energia que lliga als electrons de valència amb el seu nucli és similar a l'energia dels fotons (les partícules de la llum). Aquestes propietats tant similar als fotons fa que quan la llum solar incideix directament sobre el material semiconductor, es trenquen els enllaços entre el nucli i electrons de valència que queden lliures per circular pel semiconductor.

El buit que deixa l'electró al desplaçar-se s'anomena buit i té càrrega elèctrica positiva. Els electrons lliures i els buits creats per la radiació tendeixen a recombinar-se perdent la seva activitat. Per la seva naturalesa, els electrons lliures i els forats tendeixen a recombinar-se ràpidament per tornar a estabilitzar-se. Per evitar-ho i aprofitar la llibertat d'electrons, s'ha de crear en l'interior del semiconductor un petit camp elèctric.

En la fabricació de cel·les solars fotovoltaiques el material que més s'utilitza és el silici (Si),

conté 4 electrons de valència.

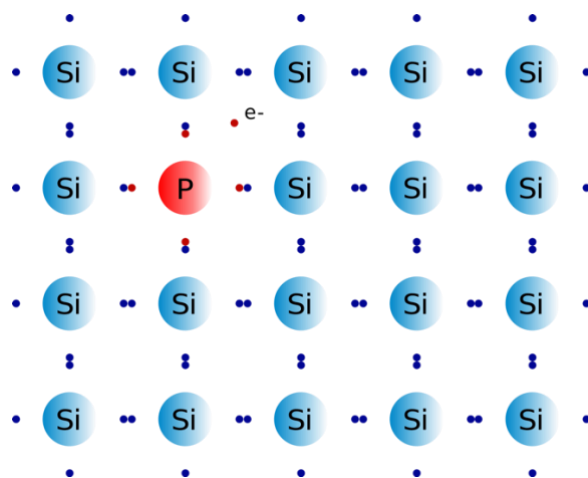


Per aconseguir el camp elèctric en aquest tipus de semiconductor s'uneixen dues regions de silici tractades químicament aconseguint una unió p-n.

4.1.2.1. Unió P-N.

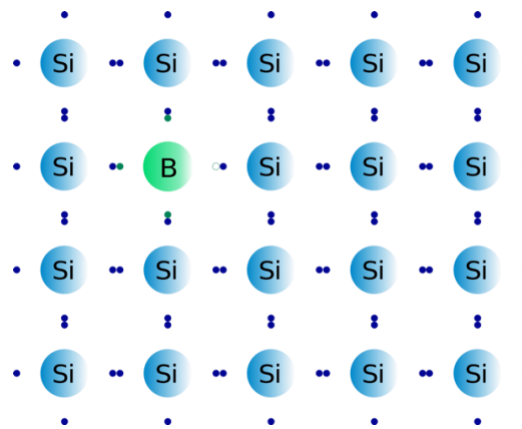
En el món dels semiconductors tot es basa en els percentatges dels dopatges que es disposen dins del mateix silici. El dopatge en semiconductors consisteix en agregar impureses en un semiconductor extremadament pur (o intrínsec) amb la finalitat de canviar propietats elèctriques. Dopant un semiconductor podem obtenir dos tipus de material dopant:

- Tipus N: posseeix àtoms d'impureses que permeten l'aparició d'electrons sense buits associats a aquests. Els àtoms (impureses) d'aquest tipus s'anomenen donants perquè deixen electrons lliures. Amb això el que s'aconsegueix és un àtom neutre que té un electró lliure al voltant. Solen ser de valència 5.

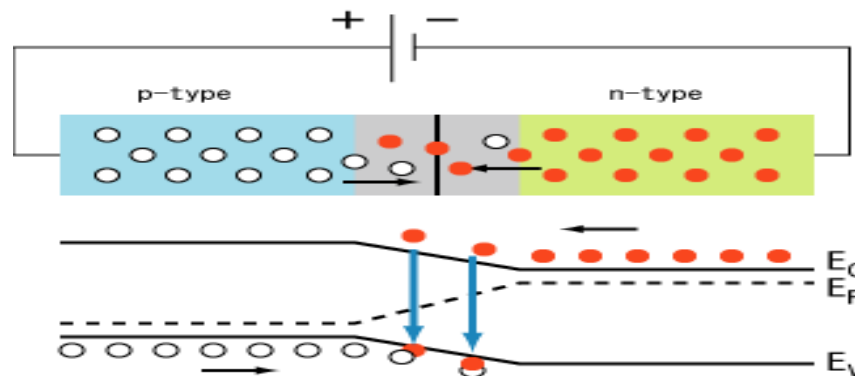


- Tipus P: Es diu així el material semiconductor que té àtoms d'impureses que permeten la formació de buits sense que apareguin electrons associats a aquest. El

àtoms (impureses) d'aquest tipus s'anomenen acceptors, ja que prenen un electró. Solen ser de valència 3.



La unió P-N es pot crear dopant regions pròximes d'un semiconductor amb dopants del tipus P i el tipus N. La unió comporta una inestabilitat energètica ja que hi ha una part amb electrons lliures i una altre amb 'buits' (una part positiva i una part negativa). Al ser atrets per les dos bandes, al arribar a la unió, es recombinen i alliberen energia en forma de llum per exemple si és un LED.



Aquest tipus de materials són el fonament del sistema fotovoltaic ja que al rebre la llum, es produeix la recombinació d'electrons i amb el conjunt adequat és possible emmagatzemar l'energia alliberada^[4].

4.1.3. Evolució plaques fotovoltaïques

Per arribar al concepte de placa fotovoltaica que coneixem actualment i es podrien classificar 4 tipus diferents de plaques o grans salts (generacions)^[5].

4.1.3.1. Primera generació

Aquesta primera generació de cèl·lules fotovoltaïques consistien en una gran superfície de vidre simple. El seu component principal és una capa de silici semiconductor amb unió PN. El seu procés de fabricació consisteix en una difusió amb oblies de silici.

La primera generació popularment coneguda com cèl·lules solars basades en oblia, constitueixen un 86% del mercat actual de cèl·lules solars terrestres.

4.1.3.2. Segona generació

Aquesta segona generació es caracteritza per l'ús de dipòsits epitaxials molt prims de semiconductors. Podríem classificar dos tipus de cèl·lules fotovoltaïques epitaxials:

1. Espacials: Tenen una eficiència de *Air Mass Zero (AM0)* més altes al voltant de 28-30%, però tenen un cost per watt més alt.
2. Terrestres: Tenen una eficiència *Air Mass Zero (AM0)* més baixa (7-9%) però s'ha desenvolupant amb uns processos de baix cost de la pel·lícula prima.

Actualment hi ha un gran nombre de tecnologies de materials semiconductors sota investigació per a la producció en massa, entre ells els compostos bàsics de les plaques com silici amorf, silici policristal·lí i silici monocristal·lí.

Es caracteritza per el desenvolupament de pel·lícules primes de Gal·li i Arsènic per a les aplicacions espacials. Bàsicament, aquesta segona generació consisteix en un 90% el mercat especial i un 10% el mercat terrestre.

4.1.3.3. Tercera generació

En aquesta generació es proposen dispositius molt diferents als semiconductors de les generacions anteriors, ja que no presenten la unió PN com a característica principal per separar el portadors de càrrega foto generats.

En el cas de l'aplicació terrestre s'està estudiant els dispositius amb cèl·lules fotoelectroquímiques, cèl·lules solars de polímers, cèl·lules solars de *nanocrystals* i cèl·lules solars de tintes sensibilitzades.

4.1.3.4. Quarta generació

La quarta generació consistiria en una tecnologia fotovoltaica en que es barregen nanopartícules amb polímers per a fabricar una capa simple multiespectral. Basat en aquesta

idea la NASA ha utilitzat aquesta tecnologia en missions a Mart. La primera capa és la que converteix els diferents tipus de llum, la segona és per a la conversió d'energia i l'última és una capa per a l'espectre infraroig. Així és possible convertir una mica de calor amb energia aprofitable.

4.1.4. Tipus de cel·les fotovoltaïques de Silici.

El mercat actual de plaques solars fotovoltaïques ofereix bàsicament 3 tipus diferents de cèl·lules solars que són:

- La cèl·lula de silici monocristal·lí.
- La cèl·lula de silici policristal·lí.
- La cèl·lula de silici amorf.

4.1.4.1. La cèl·lula de silici monocristal·lí.

La cèl·lula de silici monocristal·lí destaquen bàsicament perquè estan fabricades amb silici de puresa molt gran. Per aquesta raó, aquest tipus de cèl·lules amb el seu color negre habitual, són més eficients; també en termes d'espai, és més adequat per instal·lacions més petites. Es caracteritza per el seu color fosc i cantonades arrodonies.

Les cèl·lules monocristal·lines es fabriquen des de un gran monocristall de silici pur, prefabricat segons el mètode de Czochralski. Un procés per la obtenció de lingots monocristal·lins (en aquest cas de Silici) a través de la fusió d'ells. Per aquest procés es requereix molt de Silici i per això tenen un preu en el mercat més elevat que la resta ja que alhora de realitzar el tall es perd molt de material.

Les cèl·lules de Silici monocristal·lí tenen una vida útil entre 25 i 50 anys, i són les més eficients arribant a valors del 20%. Com a propietat alhora de triar aquesta placa solar, s'ha de tenir en compte que responen molt bé en zones on hi ha molt poca lluminositat però per altra banda, el seu rendiment baixa molt en zones d'altres temperatures^[6].

4.1.4.2. La cèl·lula de Silici policristal·lí

Els panells solars amb base de cèl·lules policristal·lines tenen una llarga trajectòria en la indústria ja que van començar a fabricar-se als vuitanta.

El seu procés de construcció és més barat que el de les cèl·lules fotovoltaïques monocristal·lines, i per això són més econòmiques. Per aquest producte, el Silici es fon i s'introdueix en motlles amb els que se l'hi dona forma a les cèl·lules. Amb aquest procés no només s'utilitza molt menys material d'aquest element (Si), sinó que a més les pèrdues en la fase de producció són negligibles.

Tot i que siguin més assequibles tenen un conjunt de desavantatges que no s'han d'oblidar. La menor tolerància al calor de aquestes cèl·lules fa que contin amb una eficiència inferior a l'alternativa monocristal·lina. En concret, s'estima que en els panells que inclouen aquestes cèl·lules el rati d'eficiència és d'un màxim del 16%, fonamentalment per la menor quantitat de Silici que incorporen.

Com a defecte de gran importància és el seu comportament davant d'altres temperatures, fet que fa que siguin menys atractives que les monocristal·lines per a usuaris que les volen instal·lar en zones càlides, així com la seva baixa eficiència en comparació amb les monocristal·lines que pot suposar un problema d'espai.

4.1.4.3. La cèl·lula de Silici amorf

Per últim tenim la cèl·lula fotovoltaica feta amb base de Silici amorf. El Silici amorf a diferència del Silici monocristal·lí o policristal·lí, no té forma cristal·lina; és utilitzat en les plaques solars com a material semiconductor, i està dipositat a la *pel·lícula prima* de la placa solar.

Com a diferència principal amb les plaques fotovoltaïques cristal·lines cal destacar el seu procés de fabricació que té com a característiques simplicitat i fàcil automatització, necessitat de poc material i facilitat per realitzar mòduls flexibles. Per la seva fabricació es fa servir Silici de mala qualitat i per això tenen una eficiència menor a les cristal·lines. Tant mateix, ja que les seves propietats no canvien si hi ha pols o un augment de temperatura són molt adequades per usos interiors.

4.2. Acumuladors de segona vida.

El desenvolupament industrial i tecnològic dels últims anys ha conduït a preocupar-nos per els residus que són perjudicials pel medi ambient com els generats per les bateries. Fins ara, les bateries, un cop disminuïa el seu rendiment s'emmagatzemaven deixant una gran quantitat de residus molt tòxics i perjudicials per el medi i la salut humana.

Una gran contribució al desenvolupament de noves bateries millors a les anteriors, és a dir, amb una major autonomia i que tardin menys en carregar-se és la indústria de l'automòbil. El fet que es comencés a plantejar un combustible que no generi CO₂ i així poder ajudar al canvi climàtic a fet que s'obriessin noves línies d'estudi com el de una font d'energia renovable.

Gràcies a l'èxit que hi ha hagut en aquest mercat, hi ha hagut un creixement exponencial de la producció de vehicles elèctrics, que no s'ha de menysprear. Tot i que en la seva etapa de funcionament tenen avantatges, tant per la vida i salut humana (reducció de soroll i emissions), com per el medi ambient (reducció emissions CO₂) no es pot deixar de tenir en compte les seves etapes de fabricació i destrucció. Els estudis ens indiquen que les bateries dels cotxes elèctrics, als 10 anys de vida, han perdut només el 20% del seu rendiment total, de manera que tenim possibilitat de reutilitzar-les en situacions que demanin un consum més estable.

És per això que hem de donar un plantejament nou a les bateries de vehicles elèctrics que estan en desús, donant-les una nova oportunitat de tenir un paper en el món actual i d'aquesta manera aconseguint un nou ús per elles i allargar la seva vida.

4.2.1. Bateries de ió - Liti amb electròlit líquid.

Les bateries de ió – Liti són un tipus de bateries recarregables, que es fan servir a l'actualitat i en els últims anys per les seves propietats. Cal dir que aquestes bateries són actualment les més eficients i les que tenen millor relació qualitat preu al mercat.

A les bateries de ió – liti els ions es mouen de l'elèctrode negatiu al positiu durant la descàrrega i al revés durant la càrrega. Es caracteritzen per no tenir memòria i una gran densitat d'energia a més d'una auto descàrrega molt lleu, s'ha de tenir en compte que poden ser perilloses ja que contenen un electrolític inflamable, i si no es carreguen correctament o es fan malbé poden acabar produint explosions o focs^[7].

4.2.1.1. Vida de les bateries ió – liti

Les bateries de ió – liti es defineixen per un número de cicles de càrrega i descàrrega totals fins arribar a un llindar en el que es considera que la bateria ja perd la seva capacitat. Les fitxes tècniques de les bateries normalment fan servir la paraula cicle de vida per especificar

el número de cicles abans d'arribar al 80% de la seva capacitat programada; el fet de tenir bateries emmagatzemades també produeix que la capacitat disminueixi.

4.3. Sistema fotovoltaic autònom

Un sistema fotovoltaic autònom és un sistema que no necessita cap altre font d'energia apart de la del sol per tal de poder abastir la demanda (consum) d'una càrrega en concret. El nostre sistema fotovoltaic autònom està compost per els següents components:

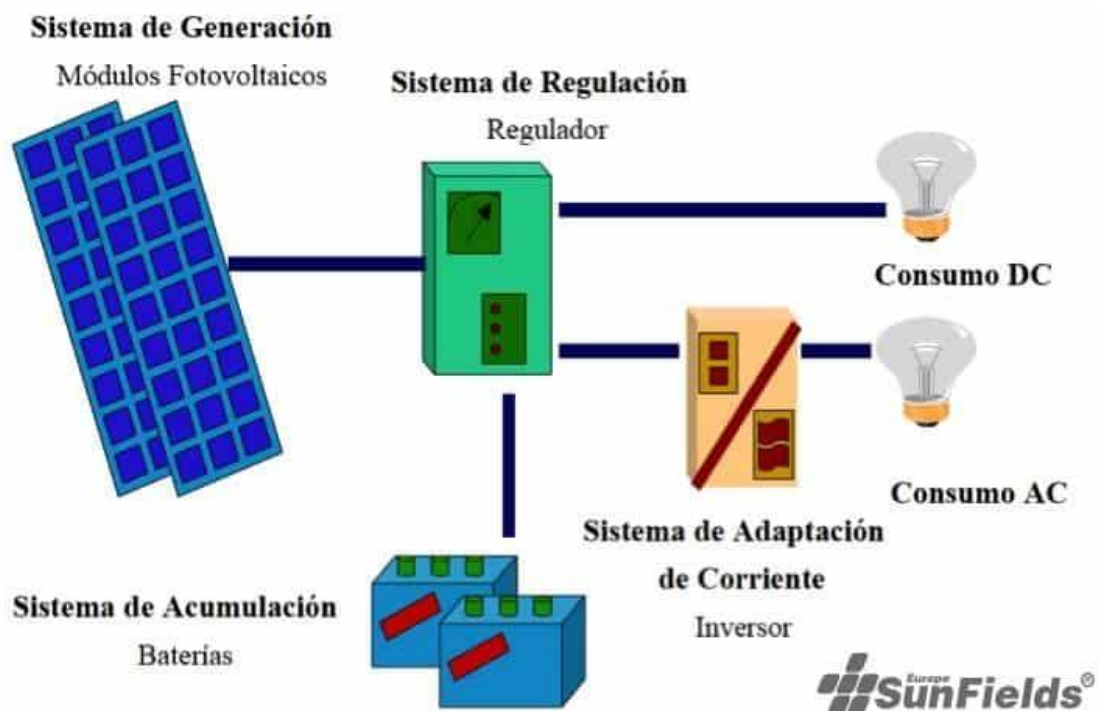
Plaques solars: Les plaques solars són el component que s'encarrega de transformar la llum solar a energia elèctrica. Segons el tipus de projecte i la seva ubicació s'han d'escollir un tipus de plaques solars o unes altres.

Regulador: És la part que s'encarrega de regular quan es carreguen les bateries i quan l'energia que prové de les plaques va directament a la càrrega.

Bateries: S'encarreguen d'emmagatzemar l'energia elèctrica provinent de les plaques solars per tal de subministrar-la a la càrrega.

Inversor: Com es sap les bateries i les plaques solars treballen a corrent continu, mentre que els electrodomèstics o càrregues poden ser trifàsiques o no constants. S'utilitzen inversors en el sistema per tal de poder passar la càrrega continua a trifàsica, això ho farem amb 3 inversors tal com s'explica posteriorment.

En el següent apartat (8) s'explicarà i es justificarà cada component emprat en el projecte^[8].



5. Unitat energètica mòbil a Castellolí

El cas pràctic del treball es basa en buscar diferents opcions per donar energia a la zona de càmping del circuit de Castellolí durant la competició de Motostudent que té una durada d'una setmana.

Es proposa fer una matriu d'opcions amb diferents alternatives:

Descripció	Avantatges	Inconvenients
Generador Diesel	<ul style="list-style-type: none"> • Simplicitat i cost barat 	Molt soroll, ús energia no renovable
Sistema fotovoltaic (bateries noves)	<ul style="list-style-type: none"> • Ús energia renovable • Pos soroll 	Molt car
Sistema fotovoltaic autònom (bateries segona vida)	<ul style="list-style-type: none"> • Ús energia renovable • No fa soroll • Sostenible • Mobilitat i diverses aplicacions 	Car però menys ja que es reutilitzen les bateries

Per a l'aplicació del treball es decideix agafar la tercera opció ja que és més econòmica pel fet que al ser bateries reutilitzables tindran un cost aproximadament de 0 €, a més de desenvolupar una nova línia d'estudi.

El sistema fotovoltaic farà ús d'una font d'energia renovable com és el sol, i a més es pretén dissenyar-lo per tal de poder-lo fabricar sobre d'un remolc el qual pugui traslladar-lo per reutilitzar-lo per altres tasques un cop s'hagi acabat el període de la competició en el mateix circuit o en altres zones.

Aquesta alternativa és una alternativa viable ja que el circuit és una zona aïllada elèctricament parlant i en els anteriors anys per abastir la zona de càmping de la competició s'ha emprat un generador Diesel; que a part d'utilitzar energia fòssil, fa molt de soroll cosa que impedeix el descans dels usuaris.

5.1. Consums

Per tal de dissenyar correctament una unitat fotovoltaica, el primer que s'ha de tenir en compte és quin consum volem abastir i quina autonomia l'hi volem donar. En aquest cas, el consum vindria a ser el dels estris que utilitzen els 22 equips que van a la competició, més les

Il·luminàries corresponents a més de les bombes d'aigua per tal de subministrar aigua al càmping.

Els aparells electrònics els quals s'han d'abastir són tots de corrent alterna i el seu consum queda desglossat de la següent manera:

- a) Mòbils: s'ha considerat que en total hi haurà uns 100 mòbils.
- b) Nevera: s'ha considerat que hi haurà una nevera per equip (22 en total).
- c) Portàtil: s'ha considerat que hi haurà un total de 22 portàtils.
- d) Bomba d'aigua: Per abastir el càmping s'utilitzen 2 bombes d'aigua.
- e) Leds: 55 Leds connectats a diferents zones per tal de il·luminar.

Aquest és el conjunt total de dispositius que es tenen en compte alhora de realitzar els càlculs de consum; s'ha fet un estudi aproximat del que pot arribar a consumir cada dispositiu per separat i un rang d'hores d'utilització. Arribant a la conclusió de la taula següent:

	Descripció	Número	P(W)	Hores / dia	Energia (Wh/dia)
Consum AC	Leds	68	11	6	4.488
	Mòbils	100	15,2	1	1.520
	Nevera	22	90	24	47.520
	Portàtil	22	125	5	13.750
	Bomba	2	1300	5	13.000
	Total				80.278

A partir d'aquí es dissenyaran dos tipus de sistemes fotovoltaics autònoms:

1. Mòdul fotovoltaic bombes d'aigua: Aquest mòdul ens servirà per abastir les dues bombes d'aigua i els Leds corresponents per il·luminar la zona de dutxes. Aquest mòdul consistirà en un sol remolc amb aquesta tasca.

El remolc del mòdul 1 tindrà el següent consum:

	Descripció	Número	P(W)	Hores / dia	Energia (Wh/dia)
Consum AC	Bomba	2	1300	5	13.000

	Leds	10	11	6	660
	Total				13.660

2. Mòdul consums tecnològics individuals: Aquest mòdul servirà per abastir els diferents consums, tindrà un conjunt de 6 remolcs totalment independents entre si per tal de tenir més flexibilitat. Són dissenyats per tal de poder donar l'energia suficient per tal d'utilitzar els mòbils, portàtils, neveres i Leds per la il·luminació de la zona.

Cada remolc del mòdul 2 tindrà el següent consum:

	Descripció	Número	P(W)	Hores / dia	Energia (Wh/dia)
Consum AC	Leds	10	11	6	660
	Mòbils	17	15,2	1	258,4
	Nevera	4	90	24	8.640
	Portàtil	4	125	5	2.500
	Total				12.058,4

Per tal de realitzar la taula superior s'ha dividit el número d'unitats entre 6 (nº mòduls) i s'ha arrodonit a la unitat més alta per tal de poder subministrar l'energia necessària

El projecte tindrà una autonomia d'un dia ja que es dissenyarà de tal manera que les bateries es recarreguin en les hores de desús. Alhora de realitzar els càlculs es suposa un rendiment el 80% del sistema causat per les pèrdues entre els diferents components i que l'eficiència de cada component no és òbviament el 100%.

Càlculs demanda corregida:

$$Unitat fotovoltaica autònoma 1 = \frac{13.660}{0,8} = 17.075,00 \frac{Wh}{dia}$$

$$Unitat fotovoltaica autònoma 2 = \frac{12.058,4}{0,8} = 15.073,00 \frac{Wh}{dia}$$

Aquests són els valors que s'utilitzaran en els posteriors apartats per tal de dissenyar les unitats.

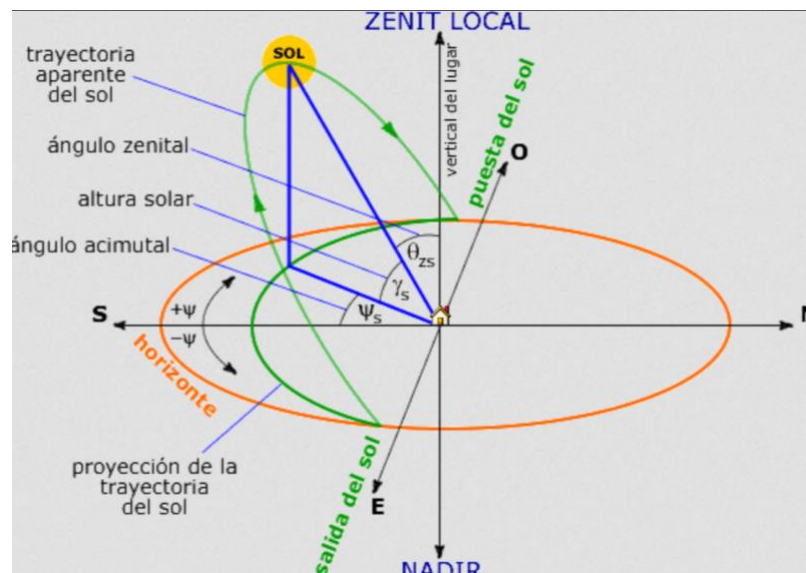
5.2. Radiació solar

Les condicions del nostre sistema fotovoltaic dependran de variables externes com la radiació solar i la temperatura de funcionament. Com a norma general, la irradiació sobre una superfície s'expressa amb KJ/m^2 . Alhora de dimensionar el nostre sistema fotovoltaic calcularem el factor H.S.P (hores de sol pic sobre la horitzontal) que és equivalent a dir hores de sol a una intensitat de 1KW/m^2 . Són el número de hores de sol que durant el dia es poden aprofitar perquè tenen una intensitat diferent; les primeres hores del matí i les últimes de la tarda, no hi ha prou intensitat com per extreure energia d'elles.

5.2.1. El moviment del Sol.

El moviment de translació i rotació de la terra provoquen que depenent de l'estació de l'any el sol estigui més elevat o més avall (per exemple a l'estiu està més elevat que a l'hivern). Per conèixer tal moviment del sol es fa servir un sistema de coordenades de dos angles que ens permeten saber en quina posició exacte es troba.

Amb aquests dos paràmetres podrem dissenyar la instal·lació de manera correcta que ens afavoreixi segons la temporada que la volem utilitzar (en aquest cas a l'estiu; Juliol i Agost). L'altura solar (γ) és l'angle que format per la posició aparent del sol en el cel i l'horitzontal del lloc; mentre que l'azimut solar (ψ) és l'angle horitzontal format per la posició del sol i la direcció del verdader sud. A la figura següent es mostra gràficament l'explicat: ^[9]



Per això, haurem de calcular quin és l'angle més favorable segons la zona a la que utilitzarem

el nostre sistema fotovoltaic, i la inclinació que tindran les plaques que hi formen part.

Per fer el càlcul de les H.S.P a la nostra zona s'han utilitzat la base de dades mundial de radiació solar i s'ha obtingut el següent: ^[10]

Fixed system: inclination=37°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	2.74	85.0	3.41	106
Feb	3.90	109	4.90	137
Mar	4.81	149	6.25	194
Apr	4.49	135	5.96	179
May	4.78	148	6.46	200
Jun	4.91	147	6.75	203
Jul	5.01	155	6.99	217
Aug	4.81	149	6.72	208
Sep	4.54	136	6.20	186
Oct	3.98	123	5.27	163
Nov	3.06	91.9	3.90	117
Dec	2.48	76.9	3.10	96.0
Yearly average	4.13	126	5.50	167
Total for year		1510		2010

E_d : Average daily electricity production from the given system (kWh)

E_m : Average monthly electricity production from the given system (kWh)

H_d : Average daily sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

H_m : Average sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system (kWh/m²)

Es pot veure com el mes d'Agost hi ha un factor de H.S.P de 6,72 hores de sol aprofitables amb una inclinació de les plaques de 37° que és la mesura òptima durant tot l'any.

5.3. Plaques fotovoltaïques

Com s'ha explicat anteriorment hi ha diferents tipus de plaques fotovoltaïques al mercat i s'ha decantat per un tipus de plaques més eficients que la resta; per això s'ha escollit fer una selecció entre el grup de les plaques cristal·lines per el seu alt rendiment. La següent taula mostra les avantatges i desavantatges entre les plaques monocristal·lines i policristal·lines.

Monocristal·lines		Policristal·lines	
Avantatges	Desavantatges	Avantatges	Desavantatges
Rendiment elevat	Més cares	Menys rendiment	Silici més impur
Optimització d'espai		Més barates	Necessitat de més espai
Làmines no quadrades		Làmines quadrades	

En la taula superior podem veure les avantatges i desavantatges de cada tipus de taula; en aquest projecte és molt important l'espai ja que volem fer-ho sobre una base de remolc. Per tant, tot i que tinguin un preu més elevat degut al seu procés de fabricació; s'ha decidit optar per les plaques solars fotovoltaïques monocristal·lines per el seu alt rendiment i per la necessitat d'utilitzar-ne menys alhora de dissenyar la instal·lació fotovoltaica.

5.3.1. Característiques placa solar escollida

Les característiques elèctriques STC estan definides en les condicions estàndard de mesura (CEM), que són les següents:

- Distribució espectral: AM 1,5 G.
- Irradiància solar: $1000 \frac{W}{m^2}$
- Temperatura de la cèl·lula: 25 °C.

Per tal de definir el nostre panell solar amb precisió hem de saber les següents característiques elèctriques (STC)^[11]:

- Potència màxima (P_{max}): És el punt de treball en el que la potència entregada pel panell

solar a la carga externa, és màxim. ($P_{\max}=V_{\max}\cdot I_{\max}$)

- Tensió en el Punt de Màxima Potència (V_{\max}): És la tensió en el punt de treball que la potència entregada és la màxima.
- Corrent en el punt de màxima potència (I_{\max}): És el corrent en el punt de treball que la potència entregada és la màxima.
- Tensió en Circuit Obert (V_{oc}): És la major tensió que pot polaritzar al dispositiu quan treballa com a generador.
- Corrent de curtcircuit (I_{sc}): És el valor de la corrent que circula per el panell quan la tensió als seus terminals és nul·la ($V=0$), i és la màxima corrent que es podria arribar a obtenir (en un cas ideal) del panell quan treballa com a generador.
- Eficiència: s'expressa habitualment com un percentatge i és la relació entre la potència elèctrica entregada per el panell i la potència de la radiació que incideix sobre ell.

La placa solar escollida per simular i realitzar els càlculs és de l'empresa AE Solar (Alemanya) i el model és el AE320M6-72 amb les característiques següents:

ELECTRICAL DATA		AE320M6-72
Nominal power	Pm (Wp)	320
Open circuit voltage	Voc (V)	46.43
Short-circuit current	Isc (A)	9.26
Voltage at max power	Vmp (V)	38.27
Current at max power	Imp (A)	8.36
Filling Factor	(%)	74.43
Module Efficiency	(%)	16.49

[12]

Fitxa tècnica a l'Annex

Cal esmentar que per la selecció de la placa s'ha escollit un tipus de placa que sigui d'una empresa reconeguda com és AE Solar i d'alta qualitat, a més de poder-nos aportar la tensió, potència i intensitat adequada per el nostre sistema.

5.3.2. Càlculs sistema fotovoltaic

5.3.2.1. Mòdul 1. Consum bombes

Amb els consums calculats a l'apartat anterior s'han fet els següents càlculs per tal de modelitzar i saber el número de plaques necessàries i la connexió entre elles per cada mòdul:

$$\text{Energia necessària a produir per les plaques solars: } 17.075,00 \frac{Wh}{dia}$$

$$HSP: 6,72 \text{ h}$$

$$\text{Voltatge del sistema: } 48 \text{ V}$$

Un cop tenim aquestes dades, és necessari calcular la capacitat que té de produir energia cada placa:

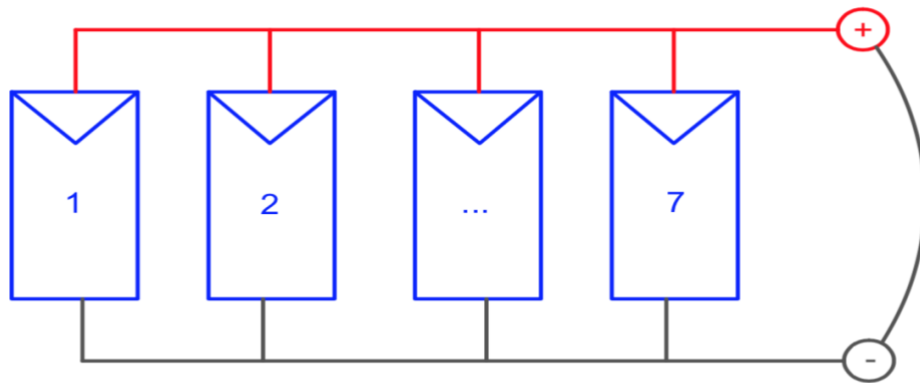
$$\text{Energia produïda al dia per placa: } HSP \cdot I_{max} = 6,72 \cdot 8,36 = \frac{56,18 \text{ Ah}}{\text{placa}} \text{ al dia}$$

$$\text{Nombre de plaques en sèrie: } \frac{\text{Tensió del sistema}}{V_{nom}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ plaques en sèrie}$$

$$\begin{aligned} \text{Nombre de plaques en paral·lel: } & \frac{\text{Energia necessària a produir les plaques}}{\text{Tensió del sistema} \cdot I_{max} \cdot HSP} = \frac{17.075,00}{48 \cdot 6,72 \cdot 8,36} \\ & = 6,332 \approx 7 \text{ plaques en paral·lel.} \end{aligned}$$

Arrodonim a la unitat més alta, ja que d'aquesta manera ens assegurem que pugui aportar l'energia suficient per tal d'abastir la demanada de consum.

El sistema determinat serà de 7 plaques en paral·lel d'una sola línia, per tant, cada mòdul tindrà un total de 7 plaques fotovoltaïques distribuïdes de la següent manera:



La potència del camp fotovoltaic per mòdul es calcula de la forma següent:

$$\text{Potència del camp fotovoltaic: } \text{nombre de plaques} \cdot P_{max} = 2240 \text{ W}$$

La intensitat del camp fotovoltaic per cada mòdul es calcula de la següent forma:

$$\text{Intensitat del camp fotovoltaic: } \text{nombre de plaques en paral} \cdot I_{max} = 58,52 \text{ A.}$$

5.3.2.2. Mòdul 2. Consums personals

Repetim el procediment de l'apartat 6.3.2.1. obtenint els números següents:

$$\text{Energia necessària a produir per les plaques solars: } 15.073,00 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

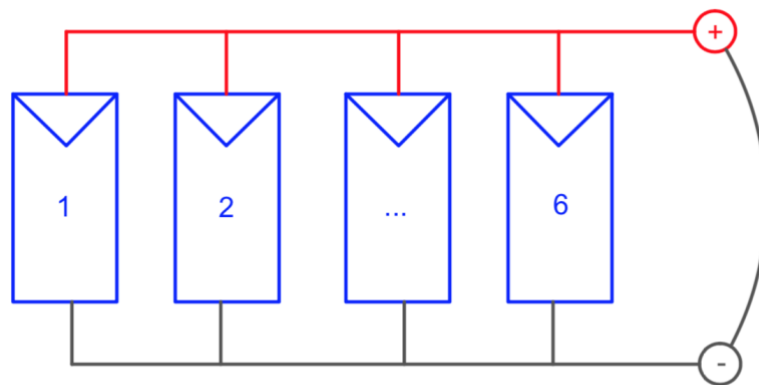
$$\text{HSP: } 6,72 \text{ h}$$

$$\text{Voltatge del sistema: } 48 \text{ V}$$

$$\text{Energia produïda al dia per placa: } \text{HSP} \cdot I_{max} = 6,72 \cdot 8,36 = \frac{56,18 \text{ Ah}}{\text{placa}} \text{ al dia}$$

$$\text{Nombre de plaques en sèrie: } \frac{\text{Tensió del sistema}}{V_{nom}} = \frac{48}{48} = 1 \text{ plaques en sèrie}$$

$$\begin{aligned} \text{Nombre de plaques en paral} \cdot I_{max} &= \frac{\text{Energia necessària a produir les plaques}}{\text{Tensió del sistema} \cdot \text{HSP}} \\ &= \frac{15.073,00}{48 \cdot 6,72 \cdot 8,36} = 5,589 \approx 6 \text{ plaques en paral} \cdot I_{max} \end{aligned}$$



Potència del camp fotovoltaic: nombre de plaques · P_{max} = 1920 W

La intensitat del camp fotovoltaic per cada mòdul es calcula de la següent forma:

Intensitat del camp fotovoltaic: nombre de plaques en paral · I_{max} = 50,16 A.

Com es pot comprovar segons els càlculs realitzats el mòdul 1 i el mòdul 2 són pràcticament idèntics ja que només generen una diferència de potència de 320 W.

5.4. Regulador de càrrega

El regulador de càrrega o controlador de càrrega és l'encarregat de controlar els processos de càrrega i descàrrega de la bateria. És molt important en un sistema fotovoltaic autònom per el següent^[13]:

- Control de sobrecàrregues: Quan la bateria arribi al 100% ha de controlar que no es segueixi carregant per tal d'evitar la generació de gasos i la disminució de líquid en l'electròlit que tindrem a dins de la bateria; així augmentant la vida útil de la bateria.
- Impedeix la sobre descarrega: En períodes de llum solar insuficient, el regulador desconnecta les càrregues de la bateria i d'aquesta manera no es patirà una descàrrega sobre excessiva que la pugui malmetre.
- Assegura un funcionament del sistema en el punt de màxima eficàcia.

5.4.1. Tipus de regulador de càrrega

5.4.1.1. Regulador Pulse With Modulation (PWM).

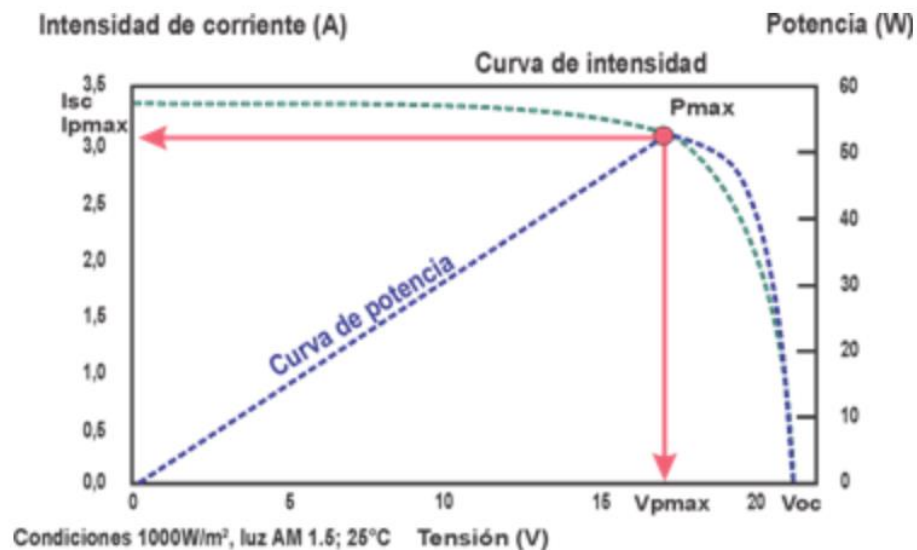
Un regulador PWM només disposa en el seu interior d'un díode, per tant, els panells solars funcionen a la mateixa tensió que les bateries. L'energia a un costat i a l'altre del regulador és la mateixa, amb els valors de tensió i corrent iguals també.

Aquesta manera de treballar fa que els mòduls no treballin a la seva màxima potència i per tant es produeix una pèrdua de càrrega que pot arribar a ser d'un 25-30%.

5.4.1.2. Regulador Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Un regulador MPPT és un convertidor electrònic de CC a CC que optimitza el flux elèctric entre la matriu solar i el banc de bateries. S'adapta per treure el major rendiment de les dues parts. La seva tecnologia és bastant més complexa que altres reguladors com el PWM.

La majoria dels reguladors MPPT moderns tenen un rendiment del 93-97% en la conversió. Per això s'obté prop d'un 30% més de potència utilitzant aquest tipus de regulador enlloc d'un PWM.



[14]

El funcionament dels reguladors MPPT és el següent:

1. Converteix el corrent continu (CC) proporcionat per els panells fotovoltaics en corrent altern (CA).
2. Rectifica la CA a CC amb la tensió que necessiti la bateria.
3. La CC de sortida passa per un regulador de sortida abans de ser conduïda a la bateria.

La finalitat de tot aquest procés consisteix en aconseguir el màxim amperatge de la bateria en tot moment, per tant, el que fa el regulador MPPT és aportar a la bateria el voltatge òptim per en aquell determinat moment aconseguir el màxim amperatge possible.

5.4.2. Característiques regulador de càrrega.

Per tal de determinar quin regulador de càrrega escollir s'han de tenir en compte els paràmetres següents:

- Tensió nominal: Indica el valor de la tensió de treball (12, 24 o 48 V).
- Corrent màxima: Màxima intensitat que suportarà el regulador.

Per tal de definir i seleccionar un bon regulador de càrrega apart dels diferents controls que té sobre el nostre sistema, s'han de seleccionar acuradament els dos paràmetres descrits anteriorment. El regulador de càrrega escollit és un regulador del tipus MPPT ja que són els que es fan servir actualment, per les moltes avantatges que tenen respecta als reguladors PWM (descrites anteriorment).

El nostre sistema fotovoltaic té una tensió de sistema de 48 V, per tant, el nostre regulador haurà de poder treballar amb aquesta tensió determinada. Els reguladors moltes vegades poden treballar a diferents tensions i per tant, un mateix regulador pot treballar tant a 12 com a 24 V, seleccionant una de les dos opcions internes d'ells.

L'altre paràmetre important és el de la corrent màxima, la intensitat que ha de poder suportar el nostre regulador de càrrega ha de tenir un marge de seguretat per tal de no trencar-lo i que el circuit quedi malmès.

5.4.2.1. Regulador de càrrega mòdul 1

La intensitat màxima que tindrà el nostre regulador és la màxima corrent d'un mòdul (conjunt) de plaques; per tant, serà de 58,52 A. A aquesta intensitat calculada teòricament se li aplica un marge de 10% de seguretat per curar-nos amb salut en el cas que hi hagués un sobre pic:

$$\text{Intensitat mínima regulador: } 58,52 \cdot 1,1 = 64,37 \text{ A}$$

$$\text{Voltatge del sistema} = 48 \text{ V}$$

Nota: No tenim en compte les pèrdues de rendiment per el regulador perquè prèviament s'ha sumat un 20% més en el consum total per tal de tenir en compte les pèrdues a tot el sistema.

5.4.2.2. Regulador de càrrega mòdul 2.

Els càlculs són els mateixos que a l'apartat 6.4.2.1, tenint en compte el marge de seguretat (10%):

$$\text{Intensitat mínima regulador: } 50,16 \text{ A} \cdot 1,1 = 55,18 \text{ A}$$

$$\text{Voltatge del sistema} = 48 \text{ V}$$

Nota: No tenim en compte les pèrdues de rendiment per el regulador perquè prèviament s'ha sumat un 20% més en el consum total per tal de tenir en compte les pèrdues a tot el sistema.

Un cop definides les característiques de voltatge i intensitat mínima ja es pot seleccionar correctament un regulador; tant mateix, s'ha optat per decidir quin regulador utilitzar posteriorment a l'apartat 5.6.2 ja que l'interès del projecte és fer-ho el més econòmic possible i es coneix que hi ha diversos inversors que tenen integrats reguladors de càrrega MPPT dins del seu sistema i es farà la valoració.

5.5. Acumuladors de càrrega

Els acumuladors de càrrega són vitals ja que són la part del sistema encarregada d'acumular la càrrega i per tant és vital realitzar un bon càlcul de quants acumuladors i quina capacitat així com característiques per tal de que el nostre sistema funcioni correctament; per això, cal definir primer l'autonomia del sistema.

El lloc on es té pensat implementar el sistema és Castellolí, una zona pròxima a Barcelona on pràcticament fa sol tots els dies; per tal d'assegurar-nos que no hi haurà talls de xarxa s'hauria de donar idealment una autonomia de 2 dies al sistema. Al fer els càlculs, veiem que es necessitarien més bateries de les que probablement es podrien aconseguir, per tant, es decideix donar-li una autonomia d'un dia, i si més endavant es necessités una autonomia més elevada, sempre es pot adaptar afegint bateries de més.

5.5.1. Acumuladors de càrrega de segona vida

Un punt fort de l'alternativa proposada per solucionar el problema de la connexió a zones aïllades, és el reaprofitament de bateries ja utilitzades; en concret, s'ha centrat com a referència a les bateries dels vehicles elèctrics, degut al seu creixement vist i previst en els últims i pròxims anys.

Un cop es planteja emprar bateries de vehicles elèctrics tenim 2 opcions:

1. Cotxe elèctric.
2. Moto elèctrica.

5.5.1.1. Cotxe elèctric.

La indústria del cotxe elèctric està encapçalada per l'empresa del famós *Elon Musk (Tesla)*, és famosa ja que els seus cotxes tenen una gran autonomia i fiabilitat. Tant mateix, s'ha enfocat el projecte cap a una opció viable i tindríem més opcions de trobar bateries ja utilitzades d'una empresa més propera com per exemple l'empresa *Nissan*.

Si analitzem una bateria d'un cotxe elèctric bàsic *Nissan*, com el *Nissan Leaf*,^[15] podem veure que està composta de 192 cel·les amb un voltatge de 3,65 V cada una i una capacitat de 56,3 Ah. Tal i com estan connectades (sèrie/paral·lel), obtindríem un voltatge de 700V i una capacitat de 39,46KWh.

El disseny del nostre sistema és d'un voltatge de 48 V, molt inferior al proporcionat per les bateries per tant, no ens servirien per el disseny del nostre sistema fotovoltaic.

5.5.1.2. Moto elèctrica.

Actualment la indústria de la moto elèctrica està creixent en nivells desmesurats, fins al punt que institucions públiques fan ús de motos elèctriques enlloc de motos de combustió per tal d'aportar el seu granet de sorra; a més de que hi ha estudis que confirmen que a la llarga són més barates.

Durant els últims anys, el desenvolupament de les bateries i la millora en l'eficiència dels motors de les motos elèctriques fan que la indústria hagi crescut ja que donen unes opcions molt bones en el moment de comprar-se la típica *scooter* d'anar per ciutat. Moltes d'elles ofereixen una autonomia d'uns 100 km i unes bateries d'Ió-Liti de ràpida càrrega.

Una de les empreses referents en aquest sector és l'empresa *Silence* que té la base aquí a Barcelona. Aquesta empresa ha desenvolupat diferents models de motos elèctriques, totes caracteritzades per un estil concret basat en una gran autonomia i ràpida càrrega. Una de les motos d'aquesta empresa és l'*Scooter Elèctric Silence S02*, que té una bateria de les característiques següents:

Capacitat nominal: 108 Ah o 5KWh

$$\text{Voltatge nominal: } \frac{5000}{108} = 46,29 \text{ V} \approx 48 \text{ V}$$

Com es pot veure aquesta bateria s'adapta al nostre sistema ja que el seu voltatge de sortida és el mateix que el del nostre regulador. Per tant, s'ha decidit utilitzar aquest tipus de bateria alhora de realitzar els càlculs per el disseny del sistema fotovoltaic autònom. ^[16]

5.5.2. Càlculs acumuladors de càrrega.

En aquest apartat es definiran els càlculs realitzats per tal de saber el nombre de bateries necessàries i quantes han d'anar connectades en sèrie o en paral·lel.

Dels apartats anteriors tenim les següents dades:

$$\text{Energia diària necessària mòdul 1: } 17.075,00 \frac{\text{Wh}}{\text{dia}}$$

Energia diària necessària mòdul 2: 15.073,00

Dies d'autonomia: 1 dia

Voltatge sistema: 48 V

Les nostres bateries de segona vida útil, no tindran òbviament un 100% de la profunditat de descàrrega o capacitat d'emmagatzematge. S'ha considerat que les bateries tenen un 50% de la capacitat d'emmagatzematge ja que representa que són bateries que estan en desús i que no es poden fer servir per l'ús al que estan destinades. Seria irònic posar un valor de la

profunditat de descàrrega del 70-80% ja que serien bateries considerades encara en bon estat.

Profunditat de descàrrega: 50%

D'aquesta manera ens queden uns paràmetres de les bateries la *Silence S02* de:

	Nova	Actual (-50%)
Capacitat Nominal	108 Ah	54 Ah
Voltatge Nominal	48 V	48 V

S'ha de tenir en compte que aquestes dades són aproximades, ja que s'ha considerat un consum superior (+20%) per tal de no cometre errors en quant a pèrdues.

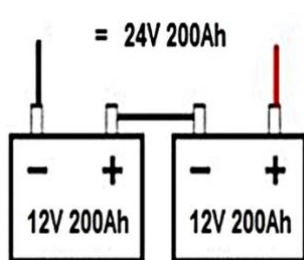
Amb les dades anteriors podem calcular la capacitat d'acumulació del banc de bateries de la següent forma:

$$C_{\text{banc bateries M1}} = \frac{\text{Energia necessària} \cdot \text{Dies}_{\text{autonomia}}}{\text{Voltatge del sistema} \cdot \text{Profunditat descàrrega}} = 711 \text{ Ah}$$

$$C_{\text{banc bateries M2}} = \frac{\text{Energia necessària} \cdot \text{Dies}_{\text{autonomia}}}{\text{Voltatge del sistema} \cdot \text{Profunditat descàrrega}} = 628 \text{ Ah}$$

5.5.2.1. Connexió en sèrie

Una connexió en sèrie de bateries es realitza connectant el born positiu d'una bateria amb el bon negatiu de l'altre de la següent manera:



Podem obtenir el voltatge necessari del nostre sistema ja que es poden connectar un número il·limitat de bateries en sèrie per tal de modificar el voltatge però altrament la capacitat total no es modifica.

Per tal de determinar el número de bateries en sèrie hem de mirar quin voltatge és necessari al sistema per tant, el nostre voltatge

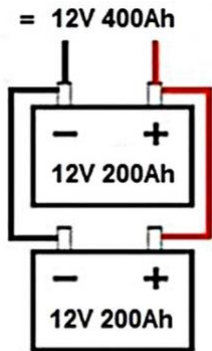
seleccionat.

El voltatge del nostre sistema és de 48 V i les nostres bateries com s'ha vist anteriorment tenen un voltatge de 48 V, per tant, serà necessària una bateria connectada en sèrie per tal de satisfer les necessitats del sistema en ambdós mòduls (ja que els dos tenen un voltatge de

48 V)

5.5.2.2. Connexió en paral·lel.

Una connexió en paral·lel consisteix en connectar els borns positius de les bateries amb els borns positius i els negatius amb els negatius, de la següent manera:



Amb la connexió en paral·lel es pot obtenir la capacitat escollida de manera que es sumen les capacitats però es manté el voltatge.

Per tal de determinar el número de bateries connectades a cada mòdul de la instal·lació haurem de fer el següent:

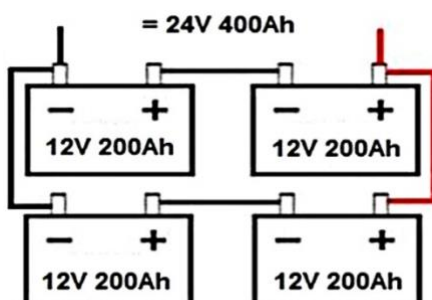
$$\begin{aligned}
 N^{\circ} \text{ bateries en paral·lel}_{M1} &= \frac{\text{Capacitat banc bateries}}{\text{Capacitat bateria}} = \frac{711}{108} \\
 &= 6,5833 \approx 7 \text{ bateries connectades en paral·lel} \\
 N^{\circ} \text{ bateries en paral·lel}_{M2} &= \frac{\text{Capacitat banc bateries}}{\text{Capacitat bateria}} = \frac{628}{108} \\
 &= 5,8148 \approx 6 \text{ bateries connectades en paral·lel}
 \end{aligned}$$

Al fer aquest càlcul s'han fet servir els valors de les bateries com si fossin noves ja que s'ha tingut en compte la profunditat de descàrrega del 50% en el càlcul de la capacitat total del banc de bateries.

Cal remarcar que aquest nombre de bateries s'ha arrodonit a la unitat més elevada per tal de poder complir amb el consum exigít.

5.5.2.3. Connexió combinada.

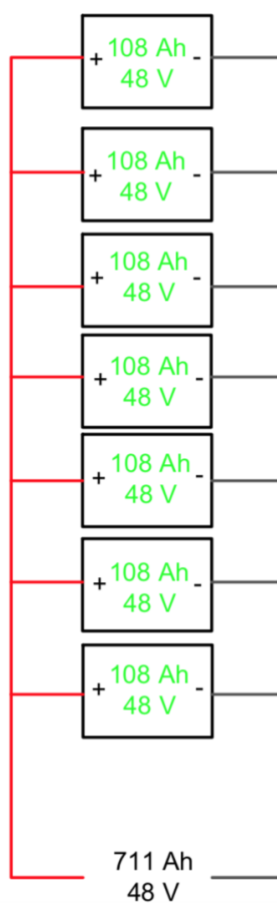
Un cop determinades el número de bateries connectades en paral·lel i el número de bateries connectades en sèrie; es determinarà el número total de bateries. Les connexions combinades de sèrie – paral·lel es fan de següent forma^[17]:



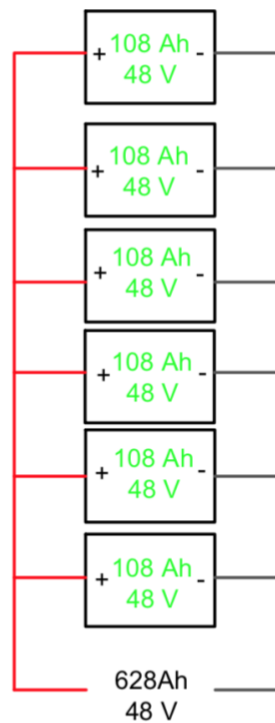
Com podem veure té els dos afectes, la suma de voltatge per una part i la suma de capacitat per l'altre. En el nostre cas el número de bateries total de cada mòdul del sistema es fa de la següent manera:

$$\begin{aligned}
 N_{\text{bateries } M1} &= N_{\text{sèrie}} \cdot N_{\text{paral·lel}} = 1 \cdot 7 = 7 \text{ bateries} \\
 N_{\text{bateries } M2} &= N_{\text{sèrie}} \cdot N_{\text{paral·lel}} = 1 \cdot 6 = 6 \text{ bateries}
 \end{aligned}$$

El nombre total de bateries és 7 i 6 connectades en paral·lel:



Mòdul 1



Mòdul 2

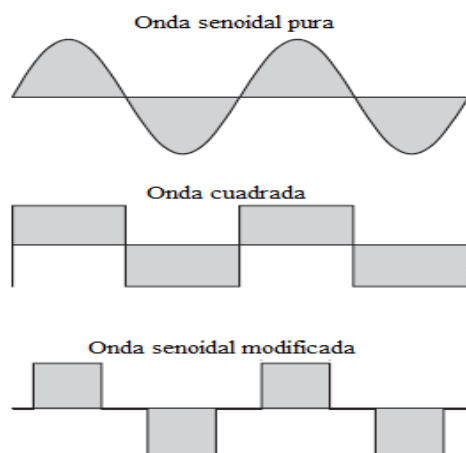
5.6. Inversor de càrrega

Un inversor de càrrega pot ser un component vital d'un sistema fotovoltaic depenent del tipus de consum que tinguem. En aquest projecte es dona el cas de tenir càrregues en Corrent Continu (CC) i càrregues en Corrent Altern. Com s'ha explicat anteriorment, les bateries i les plaques fotovoltaïques funcionen en CC, per tant, amb el mateix regulador es podrien alimentar càrregues de CC com els Leds.

El problema i importància d'aquest element esdevé quan hem d'alimentar les càrregues en CA, ja que l'inversor és l'encarregat de transformar el corrent continu en corrent altern.

5.6.1. Funcionament inversor de càrrega

La funció bàsica d'un inversor és el de transformar el corrent continu a un corrent altern a una freqüència i voltatge determinats. Per exemple la xarxa elèctrica espanyola és de 230V i 50Hz. Aquest instrument és indispensable per tal d'alimentar a través de corrent continua els nostres dispositius elèctrics que funcionen amb corrent alterna. Aquests dispositius s'utilitzen en sistemes fotovoltaics autònoms per refugis de muntanya, cases aïllades o vaixells.

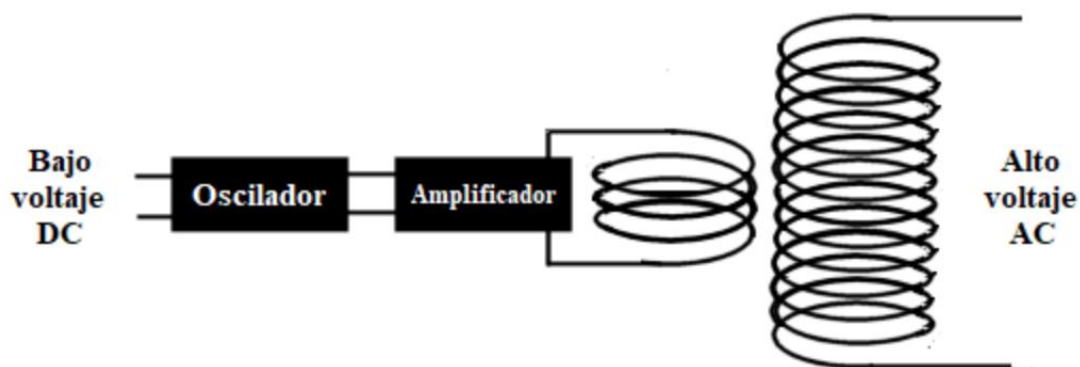


Els inversors no només poden produir o generar la típica ona sinusoïdal que ens pensem, també poden generar ones quadrades o un mix entre les dues. Tenen total llibertat i segons les nostres necessitats poden generar un tipus d'ona o un altre.

En el cas del nostre projecte ens interessa que la sortida del nostre inversor generi una ona sinusoïdal amb una freqüència de 50Hz i un

voltatge de 230 V ja que els electrodomèstics que hi connectarem estan pensats per ser connectats a la xarxa espanyola.

Per tal de generar l'ona sinusoïdal pura, els inversors necessiten un corrent sinusoïdal a l'entrada que es crea a partir d'un oscil·lador; un dels oscil·ladors més bàsics la creació d'una ona sinusoïdal és el Pont de Wien. La intensitat de sortida dels oscil·ladors no sol ser suficient per impulsar la bobina principal; per tant, se li afegeix un amplificador amb la finalitat de produir una alta corrent per la bobina primària del transformador. En el transformador s'augmenta el voltatge fins al voltatge desitjat. A continuació es pot veure un esquema de l'interior d'un inversor^[18]:



5.6.2. Càlculs inversor

Per tal de determinar el model d'inversor necessari es necessiten les següents dades:

- Potència màxima simultània: Potència conjunta de tots els components connectats alhora.
- Potència màxima d'un consum: La potència del component que consumeix la màxima potència.
- Tensió del sistema: Tensió a la que ha estat desenvolupada el sistema per la part de bateries (baix voltatge).

5.6.2.1. Inversor mòdul 1.

Per definir els consums total de corrent alterna del mòdul 1 fem la taula de l'apartat 6.1. Aquest mòdul bàsicament és el consum que tenen les bombes i els Leds que s'utilitzen per il·luminar aquella zona:

	Descripció	Número	P(W)	Hores / dia	Potència Màxima (W)	Potència Màxima* (W)
Consum AC	Bomba	2	1300	5	2600	3120
	Leds	10	11	6	110	132
	TOTAL				2710	3252

**S'ha imposat un augment del 20% com a marge de seguretat*

L'inversor de càrrega que es seleccionarà ha de poder treballar a la tensió del sistema de 48V i tenir una potència màxima de com a mínim 3252W.

Com s'ha explicat anteriorment hi ha inversors simples, o hi ha inversors que a més d'actuar

com a inversors actuen com a reguladors de càrrega pel conjunt de bateries per tant s'ha fet l'estudi del que és més favorable per el nostre sistema hi ha sortit diverses opcions:

Opció 1. Regulador i inversor per separat.

- Opció 1.1 Regulador PC-1800F de Must Solar. (64,37 A ; 48 V)



Aquest regulador és econòmic amb un preu de 272,25 € i compleix amb les exigències del nostre sistema ja que té un voltatge regulable amb 12, 24, 36 o 48 V i una intensitat màxima de 80 A. A més la potència màxima a entregar a 48 V és de 5000 W que compleix perfectament amb la nostra demanda de 2400 W^[19].

Fitxa tècnica a l'Annex

- Opció 1.2: Xantrex™ XW MPPT 80 600

Aquest regulador és menys econòmic amb un preu de 1094,59 € ja que les prestacions que ofereix són molt millors que les altres dos opcions. El regulador fabricat per Schneider pot controlar el voltatge entre 12, 24, 36, o 48 V a més la seva potència màxima és de 4800W per tant podria ser una opció per el nostre sistema, a més té un voltatge màxim d'entrada de 600 VDC^[20].



- Opció 1.3: Controlador Solar Studer VT-80 MPPT

Aquest controlador té un cost entremig dels dos anteriors (760,23 €), té la opció de regular el voltatge del sistema entre 12, 24 o 48 V; i a 48 V té una potència màxima de 5000W. La seva corrent de càrrega és de 80 A i per tant compleix amb les nostres especificacions^[21].



- Inversor Phoenix Solar 48 V 5000VA de Victron Energy (3252 W ; 48 V)

Aquest inversor té una potència de 4.000 W a 25°C i una de 3.700W a 40°C. Aquestes dos temperatures són les que s'han de tenir en compte ja que el sistema es pot escalfar en un moment donat. També aguanta pics de potència fins a 10.000 W que ens aniria bé per les bombes d'aigua; i té un preu de 1.778,70 €. L'empresa Victron Energy és una empresa de confiança i reconeixement Europeu especialista en components elèctrics i electrònics^[22].



- Inversor carregador 5KVA 4000W 48 PWM 60A Must Solar



Una opció és fer servir aquest inversor carregador sense utilitzar la opció de carregador, és a dir simplement fent servir la part funcionant com a inversor. Té una potència de 4.000W i pot aguantar un pic de potència de 10.000 VA. Per les característiques que té, té un preu bastant baix de 629, 20 €^[23].

Veure fitxa tècnica a l'Annex 1.

Opció 2. Inversor carregador (Regulador i inversor en un conjunt).

En aquest cas no es contempla la opció d'emprar un inversor carregador ja que segons les característiques del nostre sistema no es podrien utilitzar ja que el rang de voltatge per l'ús del regulador MPPT integrat és de 64-130V (segons diverses cerques), i per tant, es podria utilitzar però desconixeríem l'eficiència del sistema.

Després d'analitzar les diferents opcions es decideix per fer emprar el regulador de Must Solar PC-1800F i l'inversor carregador de Must Solar sense fer servir la part de carregador; és a dir, utilitzant-lo només com a inversor. D'aquesta manera tenim un cost del conjunt inversor + regulador de 901,45 €.

5.6.2.2. Inversor mòdul 2.

Per a definir els consums del mòdul dos ens basem en la taula de consums de l'apartat 6.1. Aquest mòdul es defineix per el consum dels objectes personals com mòbils, ordinadors, la

il·luminació i les neveres. S'ha de tenir en compte que el mòdul 2 està format per 6 remolcs diferents.

	Descripció	Número	P(W)	Hores / dia	Potència Màxima (W)	Potència Màxima* (W)
Consum AC	Leds	10	11	6	110	132
	Mòbils	17	15,2	1	258,4	310,08
	Nevera	4	90	24	360	432
	Portàtil	4	125	5	500	600
	TOTAL				1228,4	1474,08

**S'ha imposat un augment del 20% com a marge de seguretat*

L'inversor per cada remolc del mòdul 2 ha de tenir una potència mínima de 1474,08 W i un voltatge de 48 V.

Com a l'apartat anterior es farà la selecció de l'inversor, amb l'opció de ser carregador o no segons el que surti més econòmic pel nostre sistema.

Opció 1. Regulador + Inversor (separats)

- Regulador (55,18 A ; 48 V).

Per la relació de preus trobats en el mercat, encara que es podria fer servir un regulador de 60 A; el més barat que compleix amb les condicions és l'anterior de l'empresa Must Solar de 80A amb codi PC-1800F. Per tant, s'obta per la mateixa opció d'un preu de 272,25€.

- Inversor de càrrega (1474,08 W ; 48V).



L'inversor de càrrega de l'empresa Victron Energy, és el mateix model que l'emprat per el mòdul 1 però més barat ja que té una potència de sortida de 2400 W a 25° i de 2200 W a 40°. A més, pot aguantar fins a 6000W de potència pic en el moment d'arrencada de motor com el de la nevera. Té un cost de 1.130,24€^[24].

- Inversor carregador 5KVA 4000W 48 PWM 60A Must Solar



Igual que en l'apartat anterior es pot fer servir aquest inversor carregador sense utilitzar la opció de carregador, és a dir simplement fent servir la part funcionant com a inversor. Té una potència de 4.000W i pot aguantar un pic de potència de 10.000 VA. Per les característiques que té, té un preu bastant baix de 629, 20 €.

Fitxa tècnica a l'Annex

El cost total de un remolc del mòdul 2 amb la opció 1 és a dir, el regulador + l'inversor carregador és de 901,45€.

Opció 2. Carregador Inversor (Regulador + Inversor junts).

Els inversor carregador tenen la característica que en un mateix component elèctric fan la funció de regulador de càrrega mentre també poden actuar com a inversors. Com s'ha explicat anteriorment de regulador de càrrega n'hi ha bàsicament de dos tipus diferents (PWM i MPPT). Si recopilem les dades del mòdul 1 obtenim que l'inversor carregador ha de tenir les característiques següents:

$$\text{Regulador: } \begin{cases} \text{Tensió del sistema} = 48 \text{ V} \\ \text{Intensitat mínima} = 55,18 \text{ A} \end{cases}$$

$$\text{Inversor: } \begin{cases} \text{Tensió del sistema (entrada)} = 48 \text{ V} \\ \text{Potència mínima} = 1474,08 \text{ W} \end{cases}$$

- Inversor carregador 5KVA 4000W 48 PWM 60A Must Solar.

Es fa servir el mateix inversor que s'ha escollit en l'apartat anterior, en aquest cas però el control és per PWM i no és tant bo com els reguladors MPPT com s'explica en l'apartat anterior 6.4.1.1. Tant mateix el sistema funciona igualment i es té el conjunt per 629,20€.

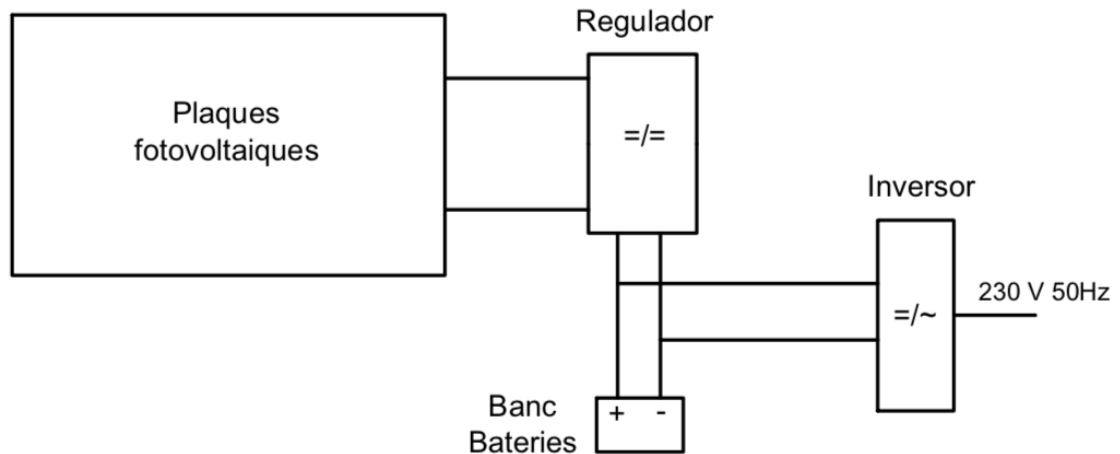


El cost d'un remolc aplicant la opció 2 és de 629,20€.

Tot i que la opció 2 sigui més barata, ens interessa treballar amb les bateries al màxim punt de potència per tant, es decideix construir els remolcs de mòdul 2 amb el conjunt inversor + carregador per separats, amb el preu de 901,45€.

5.7. Cables.

Les connexions del remolc fotovoltaic són les següents:



Tant el mòdul 1 com el mòdul 2 tenen les mateixes components, un conjunt de plaques fotovoltaïques (M1:7 , M2:6), un regulador (els dos PC-1800F), banc de bateries (M1:7, M2:6) i un inversor (els dos PV-18-5K). Per realitzar les connexions entre els diferents components s'utilitzen cables de coure. S'ha fet un càlcul aproximat de les diferents seccions que haurien de tenir els diferents cables segons les zones que connectin^[25].

5.7.1. Cables mòdul 1.

Per realitzar els càlculs s'han dividit en 3 zones de connexió:

1. Panells fotovoltaics – Regulador
2. Regulador – Banc bateries
3. Banc bateries – Inversor

Per calcular la secció necessària de cable per cada tram es fa servir la següent equació:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot \Delta V} \text{ on } L: \text{longitud}(m); I: \text{intensitat}(A), k: \text{conductivitat} \left(\frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \right), \Delta V: \text{dif. tensió}$$

Considerem la longitud següent en els diferents trams:

1. Dels panells fotovoltaics al regulador: 1,5 m.
2. Del regulador al banc de bateries: 1,5 m.
3. Del banc de bateries a l'inversor: 2 m.

La intensitat en els diferents trams:

1. Dels panells fotovoltaics al regulador: 58,52 A.
2. Del regulador al banc de bateries: 58,52 A.
3. Del banc de bateries a l'inversor: $I_{inversor} = \frac{P_{min\,inversor}}{Tensió\,sistema} = \frac{3252}{48} = 67,75\,A$

Els cables que es fan servir són tots de coure que té una conductivitat $k = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$

El percentatge de caiguda de tensió màxima que es vol tenir en els diferents trams és:

1. Dels panells fotovoltaics al regulador: 3%. $\Delta V = 0,03 \cdot 48 = 1,44\,V$
2. Del regulador al banc de bateries: 1%. $\Delta V = 0,01 \cdot 48 = 0,48\,V$
3. Del banc de bateries a l'inversor: 1%. $\Delta V = 0,01 \cdot 48 = 0,48\,V$

La tensió del sistema és de 48 V

Les diferents seccions són:

$$S_1 = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 58,52}{56 \cdot 1,44} = 2,177\,mm^2 \approx 3mm^2$$

$$S_2 = \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 58,52}{56 \cdot 0,48} = 6,53\,mm^2 \approx 7mm^2$$

$$S_3 = \frac{2 \cdot 2 \cdot 67,75}{56 \cdot 0,48} = 10,08\,mm^2 \approx 11mm^2$$

Un cop calculades aquestes seccions ara hem de comprovar un segon factor amb la ITC-BT-19. Que ens indica quina és la secció de cable que s'ha d'emprar segons la intensitat i el tipus de cable. En aquest cas s'escull el tipus de cable unipolar i amb opció de contacte mutu. Segons la taula ens dona en els tres casos que segons que la superfície mínima és de 25mm²*. Per tant, com que 25 és superior a 3, 7 i 11; s'han de tenir com a mínim una superfície de 25mm² i podria aguantar fins a una intensitat de 96 A.

**Extret segons la taula ITC-BT-19 de l'annex*

Per realitzar les connexions en paral·lel de les bateries i plaques també farem ús d'aquest cable per de 25 mm² per tant, comprarem més cable del necessari, amb la finalitat de no quedar curts. Per tant, el mòdul 1 necessitaria els 5 metres de cable de coure calculats + 4 metres més per les connexions internes és a dir, un total de 9 metres de cable de coure de 25mm² de superfície.

5.7.2. Cables mòdul 2.

S'ha utilitzat exactament la mateixa metodologia de càlcul que a l'apartat 6.7.1. dividint el

sistema en les 3 zones corresponents. Ens queden els següents valors per a cada zona:

Zona	Longitud (m)	Intensitat (A)	Caiguda de tensió (V)	Superfície (mm ²)
1	1,5	50,16	1,44	1,22
2	1,5	50,16	0,48	3,73
3	2	30,71	0,48	4,57

**S'ha fet servir com a conductivitat del coure $k = 56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$*

Aplicant la mateixa taula (ITC-BT-19)^[26] que a l'apartat 6.7.1 obtenim que el valor mínim de la superfície del cable unipolar és de 25 mm². Per tant, per a fer un remolc del mòdul 2 necessitem un total de 5 metres de cable de coure de 25mm² de. En un remolc del mòdul 2 es necessiten per tant, 5 metres de cable de 25mm² per les connexions esmentades + 4 metres de cable de 25mm² per la resta de connexions (explicat apartat anterior); un total de 9 metres de cable.

5.8. Dimensions del remolc.

Per tal de donar mobilitat al sistema fotovoltaic s'haurà d'aconseguir instal·lar tot el sistema a sobre d'un remolc. El nostre sistema està dividit en 2 mòduls per tant hi haurà 2 remolcs de dimensions diferents.

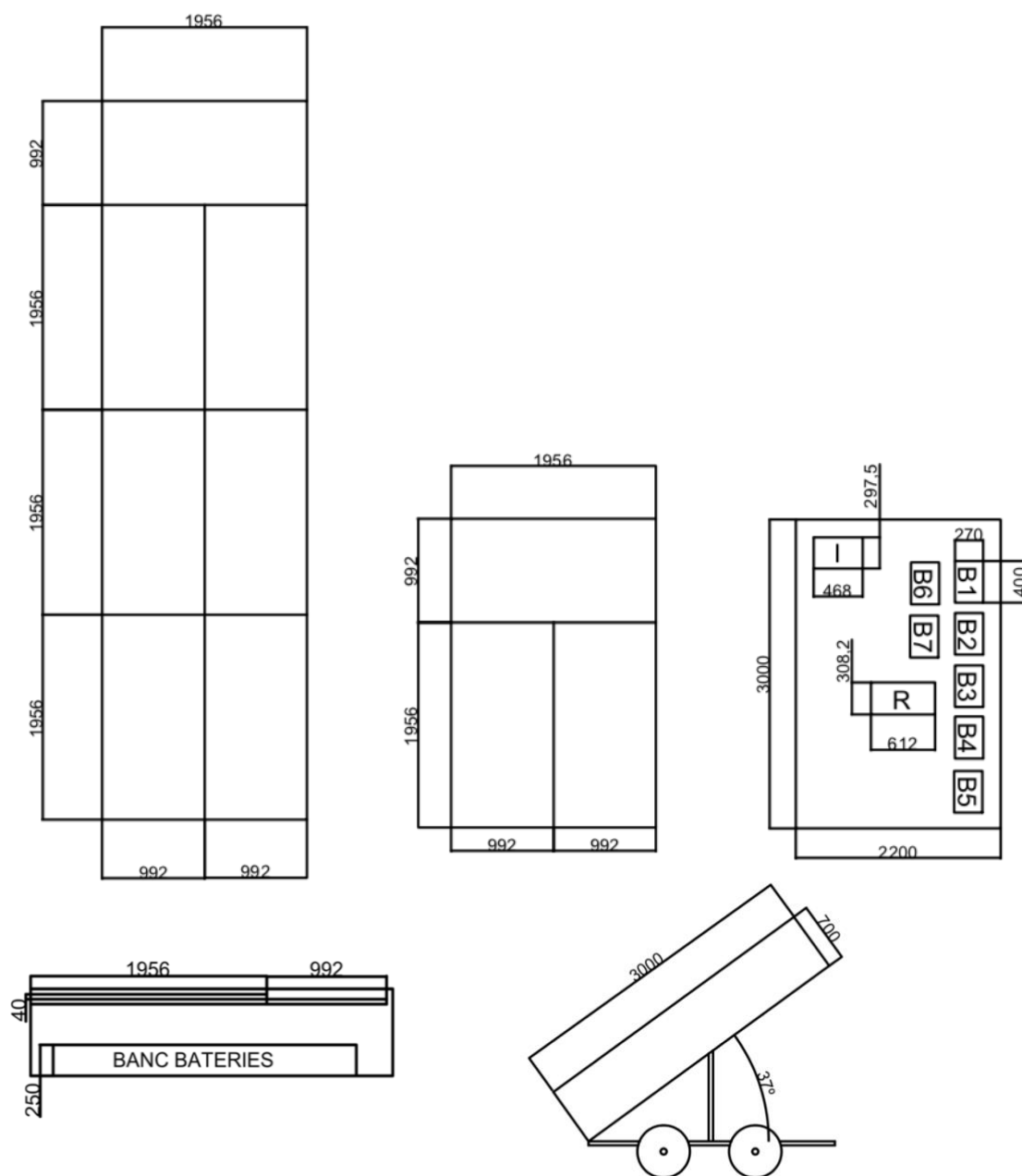
5.8.1. Dimensions mòdul 1

Les components del mòdul 1 venen a ser:

- 7 plaques fotovoltaïques AE M6-72. (1956x992x40mm per placa)
- 1 regulador PC-1800F. (612x308,2x235,6mm)
- 7 bateries en paral·lel Silence S02. (400x270x250mm per bateria)
- 1 inversor Must Solar PV18-5K PK. (297,5x468x125mm)

Es farà de tal manera que en el nivell inferior del remolc és a dir sota les plaques fotovoltaïques hi hagi tot el sistema elèctric (bateries, inversor i regulador) per tal de protegir-lo de la radiació solar directa, i optimitzar l'espai; i a la part superior és a dir a sobre el sistema elèctric el conjunt de plaques fotovoltaïques.

Es presenta la opció d'un remolc que pugui contenir les plaques plegades amb les pertinents connexions per tal de desplegar-les en el moment de fer-les servir i d'aquesta manera optimitzar l'espai ja que altrament es necessitaria un remolc de 7 metres d'allargada i uns 2 metres d'amplada. Les següents imatges ensenyen la distribució interna dels diferents components del sistema així com la distribució de les plaques fotovoltaïques plegades dins del sistema i desplegades. A més de la situació del remolc al moment d'ús per donar l'angle corresponent a 37°. Cal esmentar que falta una estructura amb la finalitat de poder aguantar les plaques una vegada estiguin desplegades; l'esmentada estructura vindria ser una planxa de metall on s'hi poguessin adherir les plaques perquè no rellisquessin.



Totes les unitats estan en mm

Com es pot veure la proposta de remolc té les següents mesures:

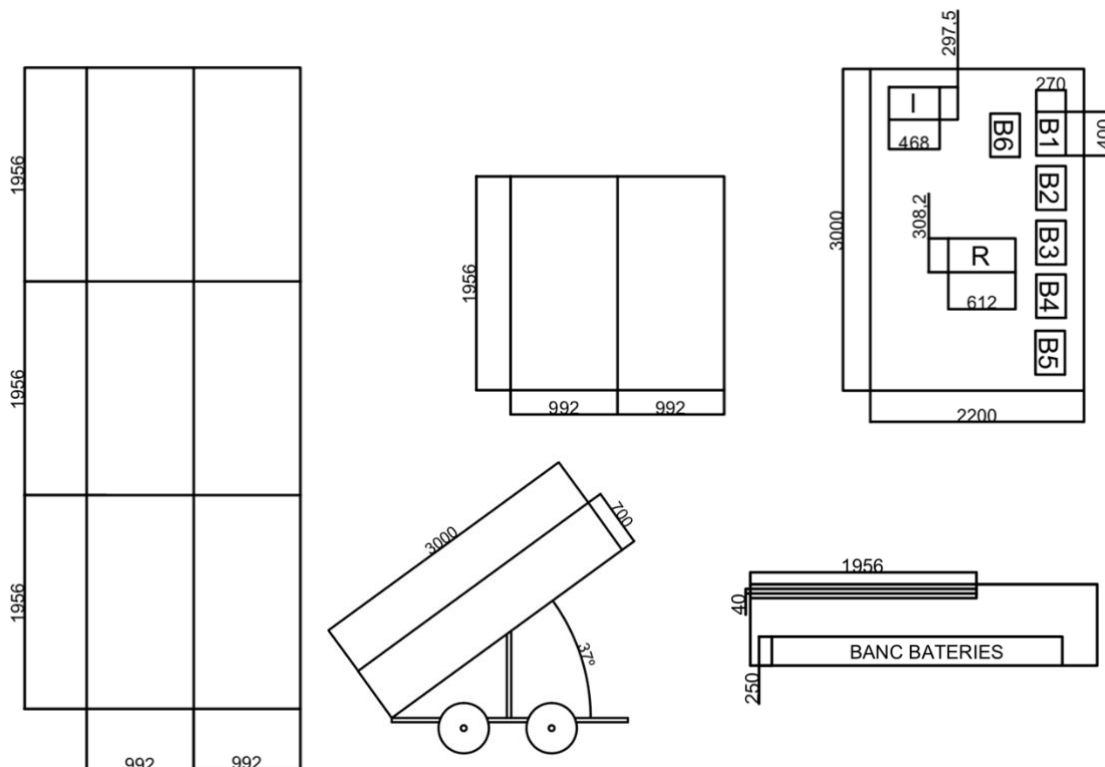
- Allargada: 3000 mm
- Amplada: 2200 mm
- Alçada: 700 mm

5.8.2. Dimensions mòdul 2.

Els components del mòdul 2 venen a ser:

- 6 plaques fotovoltaïques AE M6-72. (1956x992x40mm per placa)
- 1 regulador PC-1800F. (612x308,2x235,6mm)
- 6 bateries en paral·lel Silence S02. (400x270x250mm per bateria)
- 1 inversor Must Solar PV18-5K PK. (297,5x468x125mm)

S'ha decidit utilitzar la mateixa distribució que en el mòdul 1 emprant la mateixa tècnica de plegament de les plaques. A continuació es veu la distribució dels diferents elements en el mòdul 1 així com la posició del remolc en el moment de l'ús del sistema:



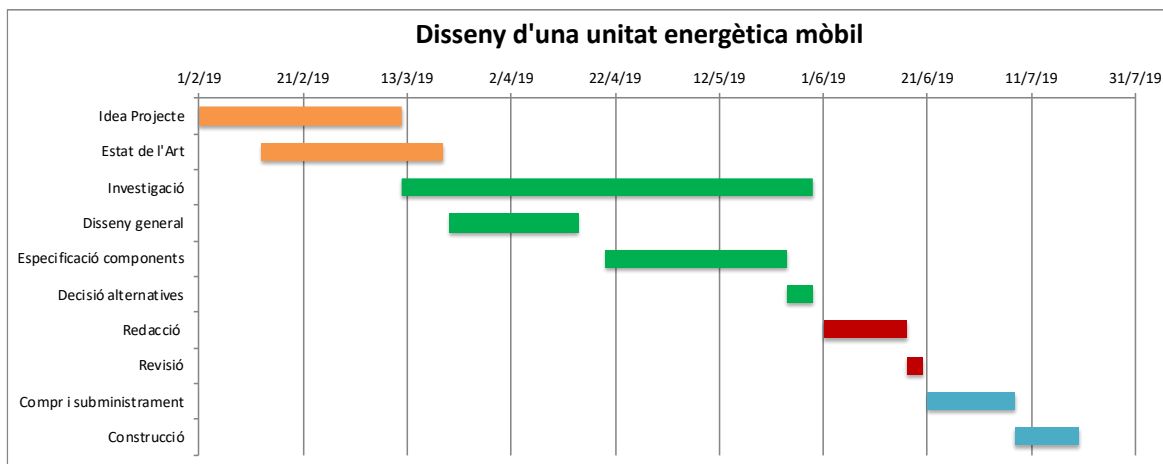
Totes les mesures estan en mm

Com es pot veure en els dibuixos superiors el canvi respecte el model 1 són és una placa fotovoltaica, i una bateria menys. Les dimensions del remolc de mòdul 2 són les mateixes que el remolc de mòdul 1.

6. Diagrama de Gantt del projecte

A continuació es mostra un diagrama de Gantt del projecte des del seu plantejament inicial fins a la posterior fase d'ús:

Nom de la tasca	Data d'inici	Data finalització	Duració (dies)
Idea Projecte	1/2/19	12/3/19	39
Estat de l'Art	13/2/19	20/3/19	35
Investigació	12/3/19	30/5/19	79
Disseny general	21/3/19	15/4/19	25
Especificació components	20/4/19	25/5/19	35
Decisió alternatives	25/5/19	30/5/19	5
Redacció	1/6/19	17/6/19	16
Revisió	17/6/19	20/6/19	3
Compr i subministrament	21/6/19	8/7/19	17
Construcció	8/7/19	20/7/19	12



7. Estudi econòmic

El conjunt del projecte es divideix en 2 mòduls, el primer que consisteix d'un remolc que donarà energia a les bombes i als Leds; i el segon que donarà energia als consums personals de cada equip. El segon mòdul està compost per 6 remolcs.

Per realitzar el cost total del projecte ho desglossarem en diferents parts:

1. Plaques fotovoltaiques
2. Regulador + inversor
3. Bateries
4. Cables
5. Remolc

7.1. Cost plaques fotovoltaiques

El model de placa fotovoltàica escollida per aquest projecte és la AE M6-72 de 320 W. Segons la pàgina web oficial de l'empresa obtenim que aquestes plaques treuen un preu de 0,284 €/Wp. Per tant, com que la nostra placa és de 320 W, cada placa ens costaria un preu de 90,88 €.

Mòdul	Nº Remolcs	Plaques fotovoltaiques	Preu per placa (€)	Preu total (€)
1	1	7	90,88	636,16
2	6	6	90,88	3.271,68
				3.907,84

7.2. Cost Regulador + Inversor

En ambdós mòduls es fa servir el mateix regulador i el mateix inversor i el conjunt de regulador + inversor tenen el mateix preu de 901,45 €. El cost tret segons el portal d'internet de venda AutoSolar.

Mòdul	Nº Remolcs	Inversor + Regulador	Preu conjunt (€)	Preu total (€)
1	1	1	901,45	901,45
2	6	1	901,45	5.408,7
				6.309,7

7.3. Cost Bateries

Com s'ha explicat anteriorment es farà ús de les bateries reutilitzades de les motos elèctriques Silence S02. El preu d'aquestes bateries noves és desconegut, i per tant, reciclades també. Al ser una iniciativa i una investigació s'espera que si es duu a terme el projecte l'empresa hi vulgui col·laborar i per tant el cost de les bateries sigui nul o pràcticament nul.

Mòdul	Nº Remolcs	Bateries	Preu per bateria (€)	Preu total (€)
1	1	7	0,00	0,00
2	6	6	0,00	0,00
				0,00

7.4. Cost cables

Per realitzar les connexions internes entre els diferents components farem ús dels cables amb els diàmetres definits anteriorment, el cable que s'ha trobat ha internet és unifilar que presenta un aïllament superior al definit a l'apartat de cable ja que era un cable multi conductor, és a dir, no presentarà problemes de sobre escalfament. El preu del cable de 25 mm² que s'ha trobat com a referència és de 2,60€ / metre. Al ser unifilar necessitarem comprar el doble de cable de l'esperat ja que haurem de comprar per la fase i per el positiu.

Mòdul	Nº Remolcs	Metres de cable x2	Preu per metre (€)	Preu total (€)
1	1	18	2,60	901,45
2	6	18	2,60	5.408,7
				327,6

7.5. Cost Remolc

No s'ha trobat les característiques del remolc demanat per tant el preu estimat de 1500 € per remolc està basat en el preu base d'un remolc. Això vol dir que si es demanés a alguna empresa que construís el remolc tindria aquest preu aproximadament.

Mòdul	Nº Remolcs	Preu per remolc (€)	Preu total (€)
1	1	1500	1.500
2	6	1500	9.000
			10.500

7.6. Cost total

A continuació es presenta el cost total del projecte contant que hi ha un cost de mà d'obra de 5.000 €.

Mòdul	Plaques fotovoltaïques	Regulador + inversor	Bateries	Cables	Remolc	Mà d'obra	Total (€)
1	636,16	901,45	0,00	901,45	1.500	5.000	-
2	3.271,68	5.408,7	0,00	5.408,7	9.000		

Projecte	3.907,84	6.309,7	0,00	327,6	10.500	5.000	26.045,14
----------	----------	---------	------	-------	--------	-------	-----------

El projecte té un cost total de 26.045,14 €, un cost considerablement barat comparat amb el preu que tindria l'ampliació de la xarxa elèctrica.

A continuació s'explicarà un cost del '*Recursos Humans*' del treball és a dir, el cost atribuït a la investigació i redacció del treball:

	Hores	€/hora	Cost (€)
Investigació	150	35	5.250
Redacció	200	35	7.000
TOTAL			12.250

8. Impacte mediambiental

El desenvolupament de la societat i el creixement a nivell tecnològic durant les últimes dècades és un factor que no es pot ignorar. S'han anat buscant alternatives a nivell industrial per tal de millorar el medi ambient i poc s'han tingut en compte l'impacte d'aquestes noves mesures o idees un cop s'hagi acabat la seva vida.

És per això que una de les idees d'aquest projecte consisteix en trobar una solució que vagi de la mà amb la sostenibilitat i que pugui donar una solució sostenible a les emissions de CO₂ emeses per els generadors de combustible fòssil i una solució a les bateries de que s'estan produint de manera massificada i es deixen d'utilitzar quan encara tenen capacitat d'emmagatzemar energia.

El projecte en si, també consta de parts que no tenen un impacte positiu cap al medi; com per exemple la producció de les plaques fotovoltaïques. S'emptra un procés que es tira Silici (un material nociu per el medi) i per tant fa que tingui un impacte negatiu; tant mateix, les importants reduccions de CO₂ i l'allargament de la vida útil de les bateries fins a duplicar-la fa que la idea en general segueixi tenint un impacte positiu en el medi ja que els residus de Silici es poden tractar i evitar amb un bon procés de reciclatge. A més, tot i que el projecte es centri en bateries de moto elèctrica de l'empresa 'Silence'; es pot aplicar i fer ús de tot tipus de bateries amb una capacitat d'acumulació, per tant, ofereix una nova idea en quant a la reutilització de tot tipus de bateries.

Conclusions

En el present projecte s'ha aconseguit dissenyar una unitat energètica mòbil amb una font d'energia renovable com és l'energia solar. S'ha pogut dissenyar de manera eficient l'esmentada unitat energètica emprant recursos sostenibles i obrint una nova línia d'investigació i oportunitats per les bateries que estan en desús.

S'ha seleccionat les plaques fotovoltaïques de 320 W de l'empresa AE Solar per fer el paper com a receptor de l'energia solar ja que AE Solar és una empresa Alemana que té un preu molt barat €/Wp a més de ser molt fiable i una de les punteres de sector; per tant, el sistema dissenyat es pot considerar fiable.

Per prendre les decisions de l'inversor i regulador s'han escollit els que complissin amb les exigències descrites pel sistema i per nosaltres mateixos per tal d'obtenir un sistema fiable i d'alt rendiment, a més de tenir en compte el factor econòmic. Dintre de les diferents opcions disponibles sempre s'ha tingut en compte el que pogués ser més positiu pel projecte tot i que a vegades suposés no obtenir la millor qualitat o el màxim rendiment, buscant el factor de fer tot el projecte més viable en quant a cost.

Degut al problema de voler fer el sistema mòbil, s'ha dividit el consum per tal de fer la construcció de diferent mòduls i poder establir una producció d'energia suficient per tal d'abastir tot el càmping durant el període de la competició de MotoStudent a més d'establir uns consums estimats.

El nucli del projecte està en haver pogut dissenyar i estimar un cost d'aquesta unitat energètica mòbil, en un total de 26.442 €; un preu que per la funció que té, l'estabilitat i l'avanç tecnològic no és gens desorbitat, ja que presenta una solució a un problema existent i s'adapta a la realitat. Pot semblar a simple vista un cost elevat, però hem de tenir en compte el cost que tindria una ampliació de la xarxa pública. S'ha de pensar que és una inversió inicial que més endavant no tindrà més costos ja que l'energia solar és 'gratuïta'; a més de la pluralitat d'usos que se li pot donar al ser una font d'energia mòbil.

Per acabar, com a opinió personal. Estic molt satisfet del projecte s'ha assolit l'objectiu del projecte i de tots els coneixements emprats durant aquest període de temps; a més de la opció d'obrir noves línies d'investigació cap al camp de la sostenibilitat elèctrica aprofundint en les bateries de segona vida ja existents en el mercat.

Agraïments

Al tutor del projecte Dr. Emilio Hernández per l'ajuda rebuda durant la investigació i redacció d'aquest projecte.

A la meva família i amics per el suport rebut durant tot aquest temps.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Generador_el%C3%A8ctric, 25 de Maig de 2019]
- [2] [<https://es.khanacademy.org/science/physics/magnetic-forces-and-magnetic-fields/magnetic-flux-faradays-law/a/what-is-faradays-law>, 20 de Maig de 2019]
- [3] [<https://www.pveducation.org/es/fotovoltaica/dispositivos-semiconductores/materiales-semiconductores>, 25 de Maig de 2019]
- [4] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Junci%C3%B3_PN, 26 de Maig de 2019]
- [5] [https://www.ecured.cu/C%C3%A9lula_fotoel%C3%A9ctrica, 26 de Maig de 2019]
- [6] [<https://sotysolar.es/placas-solares/monocristalinas-policristalinas>, 27 de Maig de 2019]
- [7] [https://ca.wikipedia.org/wiki/Bateria_d%27i%C3%B3_liti, 29 de Maig de 2019]
- [8] [<https://www.sfe-solar.com/baterias-solares/manual-calculo/>, 1 de Juny de 2019]
- [9] [http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_07.htm, 3 de Juny de 2019]
- [10] [<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>, 3 de Juny de 2019]
- [11] [<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/modulo-fotovoltaico-parametros-fundamentales/>, 3 de Juny de 2019]
- [12] [<https://es.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/31366>, 3 de Juny de 2019]
- [13] [<https://www.areatecnologia.com/electricidad/regulador-de-carga-solar.html>, 4 de Juny de 2019]
- [14] [<https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/la-curva-de-intensidad-voltaje-y-la-de-potencia-voltaje-de-un-panel-solar-el-papel-del-regulador-de-carga>, 4 de Juny de 2019]
- [15] [<https://forocohelectricos.com/2018/01/estas-son-las-especificaciones-de-la-bateria-de-40-kwh-del-nissan-leaf-2018.html>, 5 de Juny de 2019]
- [16] [<https://www.arpem.com/silence/precios-motos/2017/silence-s02-4kwh-.html>, 5 de Juny de 2019]

- [17] [<https://bateriasyamperios.com/guia-e-instalacion/baterias-en-serie-y-paralelo-como-debo-conectar/>, 5 de Juny de 2019]
- [18] [<https://www.mpptsolar.com/es/esquema-funcionamiento-inversor.html>, 6 de Juny de 2019]
- [19] [<https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt/regulador-12v-24v-48v-80a-mppt-must-solar>, 5 de Juny de 2019]
- [20] [<https://autosolar.es/reguladores-de-carga-mppt/regulador-mppt-80-a-schneider-xantrex>, 8 de Juny de 2019]
- [21] [<https://www.tutiendaenergetica.es/regulador-carga-mppt-studer-vt-80-48v-80a>, 8 de Juny de 2019]
- [22] [https://autosolar.es/inversores-48v/inversor-victron-phoenix-solar-48v-5000va?gclid=Cj0KCQjw9JzoBRDjARIsAGcdIDWqTaZOdzdIQOGZJ9VUTkQPRA0KTW0-ML_7_tBD1E-w8JrvM4f1Fu4aAp0tEALw_wcB, 8 de Juny de 2019]
- [23] [<https://autosolar.es/inversores-cargadores-48v/inversor-cargador-5kva-4000w-48v-pwm-60a-must-solar>, 9 de Juny de 2019]
- [24] [<https://autosolar.es/inversores-48v/inversor-victron-phoenix-solar-48v-3000va>, 9 de Juny de 2019]
- [25] [<https://www.infootec.net/calculo-la-seccion-cable/>, 11 de Juny de 2019]
- [26] ITC-BT-19

ANNEX

A les següents pàgines es poden trobar el conjunt de fitxes tècniques així com les taules necessàries complementaries.